

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

10/019401

PCT/1

00/01803 #2



REC'D 02 AUG 2000

WIPO PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

RÈGLE 17.1.a) OU b)

DOCUMENT DE PRIORITÉ

COPIE OFFICIELLE

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 13 JUIL. 2000

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLESIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS Cédex 06
Téléphone : 01 53 04 53 04
Télécopie : 01 42 93 59 30

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE **28 JAN 2000**

LIEU **75 INPI PARIS**

N° D'ENREGISTREMENT

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

0001130

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE

PAR L'INPI

28 JAN. 2000

Vos références pour ce dossier
(facultatif) **238347 D18164 JRC**

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

Cabinet REGIMBEAU
26, avenue Kléber
75116 PARIS
FRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

2 NATURE DE LA DEMANDE

Cochez l'une des 4 cases suivantes

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

Demande de brevet initiale

N°

Date

/ /

ou demande de certificat d'utilité initiale

N°

Date

/ /

Transformation d'une demande de
brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date

/ /

3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

Système comportant un satellite à antenne radiofréquence

4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ

OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE

LA DATE DE DÉPÔT D'UNE

DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE

Pays ou organisation **FRANCE**

Date **28/06 1999**

N° **99 08223**

Pays ou organisation

Date / /

N°

Pays ou organisation

Date / /

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suit »

5 DEMANDEUR

☐ S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

Nom ou dénomination sociale

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

Prénoms

Forme juridique

N° SIREN

775665912

Code APE-NAF

Adresse

Rue

2, place Maurice Quentin 75001 PARIS

Code postal et ville

Pays

FRANCE

Nationalité

Française

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

28 JAN 2000

LIEU

75 INPI PARIS

N° D'ENREGISTREMENT

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

0001130

DB 540 W / 260899

Vos références pour ce dossier : (facultatif)		238347 D18164 JRC
6 MANDATAIRE		
Nom		
Prénom		
Cabinet ou Société		Cabinet REGIMBEAU
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		
Adresse	Rue	26, avenue Kléber
	Code postal et ville	75116 PARIS
N° de téléphone (facultatif)		01 45 00 92 02
N° de télécopie (facultatif)		01 45 00 46 12
Adresse électronique (facultatif)		info@regimbeau.fr
7 INVENTEUR (S)		
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée
8 RAPPORT DE RECHERCHE		
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Païement échelonné de la redevance		Païement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		
Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):		
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI
		

- sens de trajet, reliée par des moyens de regroupement et/ou éclatement d'une part en amont sur le trajet à au moins un point de réception des signaux et d'autre part en aval à au moins un point d'émission des signaux et des moyens pour appliquer les déphasages et ou retard entre les points
- 5 d'émission et de réception afin d'assurer la déviation sont appliqués sur la portion centrale pour ce qui concerne le retard et le déphasage commun et sur les branches pour ce qui concerne le retard et ou déphasage différentiel ;
- il comporte des moyens permettant de faire varier les déphasages et/ou
- 10 retards appliqués sur les différents trajets ;
- au moins une partie des moyens de liaison entre le ou les points de réception et le ou les points d'émission est commune à différents canaux et des moyens permettant de discriminer ces différents canaux sont disposés au niveau d'au moins une jonction entre une portion de trajet commun et
- 15 des portions de trajets spécifiques ;
- l'antenne comporte des moyens pour traduire la fréquence des signaux lors de leur déviation, pour au moins un canal et un trajet ;
 - pour au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent la même fréquence avant et après l'antenne ;
- 20 - pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, l'incidence d'autocompensation est égale à l'incidence de la direction d'illumination ;
- pour au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une
- 25 fréquence distincte avant et après l'antenne et la fréquence de translation utilisée n'est pas issue de signaux reçus sur une des faces du pavé ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, le cosinus de l'incidence de la visée
- 30 d'autocompensation et le cosinus de l'incidence de la direction d'illumination sont sensiblement dans le rapport des fréquences centrales du canal côté illumination et côté terre ;

- selon au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et la fréquence de translation est issue d'un signal de translation dit externe reçu par une face du pavé ;
- selon au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une
5 fréquence distincte avant et après l'antenne et la translation de fréquence résulte ou est équivalente à deux translations consécutives, dont une qui est dite externe et dont la fréquence de translation, appelée F_e , est issue d'un signal de translation externe reçu par une face du pavé et dont l'autre qui est dite interne et qui est de fréquence de translation F_i , est sans
10 référence à un signal reçu par l'une ou l'autre des faces du pavé ;
- les moyens illuminateurs comportent une pluralité de sous-ensembles illuminateurs et différents signaux d'un même canal émis vers la pluralité des sous-ensembles illuminateurs ou issus de celle-ci se répartissent entre la terre et l'antenne selon une pluralité de faisceaux d'émission et/ou de
15 réception dont la géométrie angulaire vue de l'antenne correspond sensiblement à la géométrie angulaire relative selon laquelle sont vus depuis l'antenne les différents sous-ensembles illuminant ce canal, cette géométrie étant le cas échéant modifiée par une anisotropie ;
- les moyens illuminateurs comportent une pluralité de sous-ensembles
20 illuminateurs et , pour un canal donné pour lequel l'antenne met en œuvre une translation de fréquence, les différents signaux émis vers la pluralité des sous-ensembles illuminateurs ou issus de celle-ci se répartissent selon une pluralité de faisceaux d'émission et/ou de réception vers la terre dont la géométrie angulaire vue de l'antenne correspond sensiblement à la
25 géométrie angulaire relative selon laquelle sont vus depuis l'antenne les différents sous-ensembles illuminant ce canal, après multiplication de tous les écarts angulaires par le rapport des fréquences centrales du canal côté illuminateur et côté terre, cette géométrie étant le cas échéant modifiée par une anisotropie ;
- 30 - le signal de translation externe utilisé selon au moins un canal est émis par les moyens illuminateurs et reçu par la face de l'antenne qui est du côté de l'illumination, et dans le cas où les moyens illuminateurs sont répartis en

sous-ensembles illuminateurs, le signal de translation externe est émis par un sous-ensemble appelé foyer, éventuellement limité à cette fonction ;

- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs émettent des signaux vers l'antenne tout en émettant

5 le signal de translation externe, le cosinus de l'incidence d'autocompensation et le cosinus de l'incidence de la direction d'illumination sont sensiblement dans le rapport $(f + F - F_e) / f$ où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe, et F est la totalité de la translation de fréquence, et dans le cas où les moyens d'illumination sont
10 répartis en sous-ensembles, l'écart d'incidence entre l'illumination considérée et le foyer est sensiblement reproduit dans l'écart entre les incidences d'autocompensation correspondant à l'illumination et celles qui correspondraient au foyer, moyennant les termes multiplicatifs $(f+F/f)$ et $(\sin(\phi_1)/\sin(\phi_2))$ où ϕ_1 est l'angle d'incidence d'illumination du foyer et ϕ_2
15 l'angle d'incidence d'autocompensation qui en résulterait si le foyer émettait ;

- F_e et F sont de même signe, c'est à dire portent sur des changements de fréquence de même sens ;

- un signal de translation externe utilisé selon au moins un canal à la
20 réception est reçu par la face du pavé selon laquelle se fait la réception et est émis d'un point sol appelé foyer sol ;

- un signal de translation externe utilisé selon au moins un canal à la réception est reçu par la face du pavé selon laquelle se fait la réception et est émis par au moins un satellite sensiblement sur la même orbite que
25 l'antenne et les moyens illuminateurs, ce satellite étant disposé par rapport à l'antenne du côté opposé aux moyens illuminateurs, les moyens d'émission du signal étant appelés foyer opposé ;

- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, l'angle de l'incidence
30 d'autocompensation est sensiblement égal à $\phi_2 + (\cos(\phi_2) (f+F_e) - \cos(\phi_1) (F+f)) / \sin(\phi_2) f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et celui du signal de translation externe, f la fréquence côté

terre, F_e est la valeur de la translation externe, et F est la totalité de la translation de fréquence ;

- F_e et F sont de même signe, c'est à dire portent sur des changements de fréquence de même sens ;

- 5 - pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, la fréquence F_e est égale à la fréquence F pour les deux trajets et au moins un foyer sol est au voisinage d'une visée d'autocompensation d'émission correspondant à ces moyens illuminateurs ;
- pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, l'attitude de
- 10 l'antenne, ainsi que les fréquences F_i et F_e à la fois à l'émission et à la réception, sont telles que les visées d'autocompensation sont identiques sur les deux trajets en dépit du non-alignement du foyer opposé avec les moyens illuminateurs utilisés en réception, ou en dépit de l'éloignement entre le foyer sol et le centre de la zone à couvrir ;
- 15 - pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, la translation de fréquence F_e se fait à partir du signal externe reçu par la face d'illumination et l'incidence d'autocompensation est telle que $\cos(\phi_2)/\cos(\phi_1) = (f + F_e + F)/f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et l'angle de
- 20 l'incidence d'autocompensation, f étant la fréquence côté terre, F_e la valeur de la translation externe, F la totalité de la translation de fréquence ;
- F_e et F sont de signes contraires, c'est à dire que la translation externe F_e est de sens opposé à la translation totale F ;
- pour au moins un canal utilisé à la réception $|F_e| = |F|$ et $F_i = 2|F|$;
- 25 - pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, $|F_e| = |F|$ et $F_i = 2|F|$ pour la réception et $F_e = F$ pour l'émission et les visées d'autocompensation sont sensiblement identiques sur les deux trajets ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, la translation F_e se fait à partir
- 30 du signal externe reçu par la face d'illumination et est de même sens que la translation totale F , $F = F_e$ et en ce que l'incidence d'autocompensation est donnée par $\phi_2 - \phi_1 = -2 \operatorname{Ctg}(\phi_1) F/f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la

direction d'illumination et l'angle de l'incidence d'autocompensation f étant la fréquence côté terre, F_e la valeur de la translation, F la totalité de la translation de fréquence ;

5 - l'attitude de l'antenne est telle que l'écart angulaire entre l'ensemble des visées possibles et les visées d'auto-compensation soit globalement minimisé ;

- l'attitude et la ou les fréquences de translation F_e ou F_i sont telles que l'écart angulaire entre l'ensemble des visées possibles et les visées d'auto-compensation soit globalement minimisé ;

10 - l'attitude et la ou les fréquences de translation F_e ou F_i sont telles que les résidus d'autocompensation soient répartis sur les deux trajets ;

- l'antenne comporte des moyens pour mettre en œuvre des translations de fréquences différentes sur les signaux radio-fréquence émis ou reçus selon des canaux distincts ;

15 - les moyens de déphasage et/ou retard sont commandés de façon à maintenir inchangé l'orientation dans le repère lié à l'antenne d'un faisceau correspondant à un canal en dépit des modifications de l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'illumination utilisée par le faisceau ;

20 - les moyens de déphasage et/ou retard sont commandés de façon à maintenir inchangée l'orientation dans le repère lié à l'antenne d'une direction de faisceau éventuellement virtuel correspondant à une direction d'illumination éventuellement virtuelle repérée par rapport aux directions d'illumination d'un canal ;

25 - la direction du faisceau, éventuellement virtuel, sur lequel porte la compensation est choisie de manière à minimiser l'écart angulaire maximal entre ce faisceau et le faisceau ou l'ensemble des faisceaux du canal et le pas, compté à la longueur d'onde de la fréquence centrale du canal côté terre, entre les points centraux utilisés par le canal est établi en fonction de cet écart angulaire maximal et du niveau tolérable des lobes de sous-réseaux accompagnant le ou les faisceaux du canal ;

30 - il comporte des moyens pour commander les moyens de déphasage et/ou de retard de façon à maintenir inchangée la direction dans le repère terrestre d'au moins un faisceau d'au moins un canal en dépit des

modifications d'attitude de l'antenne et des modifications qui en résultent concernant l'orientation dans le repère lié à l'antenne des directions d'illuminations ;

- le satellite qui porte l'antenne et au moins un satellite portant des moyens d'illumination comportent des moyens pour déterminer l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'illumination ;
- le satellite qui porte l'antenne et au moins un satellite portant des moyens d'illumination comportent des moyens pour déterminer l'orientation dans le repère terrestre de l'axe les joignant ;
- 10 - l'orientation de la direction d'illumination dans le repère lié à l'antenne est déterminé à partir de la connaissance de l'attitude de l'antenne et de l'orientation dans le repère terrestre de l'axe les joignant ;
- l'antenne comporte des moyens pour comparer les phases et/ou retards d'au moins un signal émis par les moyens illuminateurs et reçu en différents points de l'antenne et des moyens pour déterminer en fonction de cette comparaison l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'arrivée du ou des signaux ;
- 15 - l'attitude en lacet et/ou tangage de l'antenne est déterminée à partir de la connaissance de l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'arrivée du ou des signaux et de l'orientation dans le repère terrestre de cette direction d'arrivée ;
- un satellite qui porte des moyens illuminateurs comporte des moyens pour se localiser ou des moyens de réception de signaux de radiolocalisation, ainsi que des moyens pour transmettre les informations de localisation ou les signaux de radiolocalisation qu'elle reçoit au satellite qui porte l'antenne, ce dernier comportant des moyens pour déterminer en fonction notamment de ces informations l'orientation dans le repère terrestre de l'axe joignant les deux satellites ;
- la direction d'illumination virtuelle repérée est celle d'un sous-ensemble d'illuminateur qui émet le signal de mesure, et la mesure donne directement l'information nécessaire à la compensation ;
- 30 - des sous-ensembles illuminateurs sont sur un même satellite ;

- des sous-ensembles illuminateurs sont décalés les uns par rapport aux autres sur une orbite commune ;
 - des orbites de sous-ensembles illuminateurs présentent des écarts d'ellipticité et/ou de plan d'orbite ;
- 5 - sur un retard de portion centrale transite ensemble au moins un canal et la raie de translation, ou une référence qui permet de la créer, utilisée pour baisser la fréquence du ou des canaux en aval du retard, de façon à limiter les impacts des imperfections du retard sur la phase du signal dévié ;
- une translation descendante est réalisée sur un canal ou plusieurs canaux
- 10 en amont du retard de portion centrale ;
- une telle translation descendante est suivie d'une translation montante après le retard utilisant une référence n'ayant pas subie ce retard, de façon à limiter les impacts des imperfections du retard sur la phase du signal dévié ;
- 15 - le retard sur la portion centrale est commun à au moins deux canaux sur au moins un sens de trajet ;
- la translation de fréquence est réalisée, sur au moins un canal et un trajet, dans la portion centrale ;
 - dans une application à la transmission de télécommunications, il comporte
- 20 une pluralité de canaux, ainsi qu'une pluralité de sous-ensembles illuminateurs, la mosaïque des faisceaux au sol étant constituée par le motif fin généré par l'antenne du fait de la géométrie angulaire selon laquelle les sous-ensembles illuminateurs sont vus par celle-ci, répété selon un motif large qui est généré par l'antenne du fait des différents canaux ;
- 25 - les sous-ensembles illuminateurs illuminant un même canal sont vus de l'antenne suivant une géométrie angulaire relative stable à l'exception d'une rotation sur elle-même à la période orbitale et la pluralité de directions assurée par le motif large du canal précessionne grâce aux moyens de déphasage et/ou retard autour d'une direction centrale et ce en phase avec
- 30 la rotation du motif fin de façon à ce que la mosaïque d'ensemble des faisceaux garde une structure stable, mise à part une rotation sur elle-même à l'échelle orbitale ;

- l'orbite des satellites est une orbite basse et l'antenne s'étend sensiblement dans un plan qui passe par le centre de la terre, en ce qu'un décalage du plan par rapport au plan d'orbite permet l'illumination sur une face, en ce que sur l'autre face au moins un des faisceaux est dépointé pour voir la terre. ;
- les déphasages et les retards sont tels que le décalage des sous-ensembles illuminateurs se traduit par des faisceaux à empreintes au sol décalées transversalement par rapport à la trace ;
- au moins deux satellites antenne utilisent des moyens illuminateurs communs ;
- au moins deux satellites antennes sont situés d'un même côté, le long de l'orbite, des moyens illuminateurs, et sont décalés sur la même orbite ou sont décalés en ellipticité et/ou plan d'orbite ;
- au moins deux satellites antennes sont de part et d'autre des moyens illuminateurs.
- un satellite antenne porte des moyens illuminateurs destinés à un autre satellite antenne ;
- un satellite prisme porte des moyens illuminateurs destinés à un autre satellite prisme et est illuminé par des moyens illuminateurs portés par un satellite prisme ;
- l'axe normal à l'antenne est sensiblement dans le plan de l'orbite, le tangage étant tel que le cône de visée d'auto-compensation rencontre la terre selon une ligne d'auto-compensation s'étirant globalement transversalement à l'orbite et le déplacement au sol, sensiblement le long de la projection de l'orbite, de la ligne d'auto-compensation est réalisé par le déplacement du satellite et/ou par le changement du tangage de l'axe d'antenne et/ou le changement de la fréquence de translation dans le cas où celle-ci est assurée au moins par un signal interne, ces trois moyens pouvant être utilisés séparément ou en combinaison ;
- les visées sol sont réparties en fauchée le long de la ligne d'auto-compensation de sorte que les contraintes de déformation de l'antenne sont très relâchées ;

- des moyens illuminateurs reçoivent directement de la terre des signaux également reçus via l'antenne et une corrélation entre les deux voies d'arrivée des signaux réalise une discrimination de visée de la source de ces signaux fonction de l'angle que la direction d'arrivée des signaux fait avec l'axe antenne/moyens illuminateurs ;
- le déplacement au sol, sensiblement le long de la projection de l'orbite, de la zone de visée discriminée par la corrélation est réalisée par le déplacement du satellite et/ou par le changement de l'angle de discrimination ;
- l'antenne présente dans une direction une dimension plus importante que dans les autres directions, ce qui assure pour au moins un faisceau l'étroitesse de l'empreinte au sol dans une direction transversale à l'orbite ;
- une imagerie du sol selon deux composantes croisées est obtenue en combinant la corrélation et un balayage du faisceau ;
- il comporte des moyens pour réaliser les visées au sol à partir d'un balayage électronique d'un faisceau selon une commande mono-dimensionnelle et la grande dimension de l'empreinte du faisceau, qui résulte de la petite dimension de l'antenne, est le long de l'orbite et permet de recouvrir la ligne d'auto-compensation pour toutes position du faisceau, en dépit de la courbure de cette ligne et du caractère mono-dimensionnel de la commande de balayage ;
- l'antenne est allongée le long de l'axe tangage ;
- l'antenne est allongée le long de l'axe lacet ;
- l'antenne dispose de moyens pour mesurer ou reconstituer la déformée (ΔP) transversale au plan de l'antenne ;
- l'antenne comporte des moyens pour comparer les phases et/ou retards d'au moins un signal émis par les moyens illuminateurs et reçu en différents points de l'antenne et des moyens pour déterminer en fonction de cette comparaison la déformée (ΔP) transversale au plan de l'antenne ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, une correction de déformée est

- réalisée par variation du déphasage de valeur ΔP ($2\pi f/C$) ($\cos(\phi_2) - \cos(\phi_1)$) au niveau d'au moins une des portions centrales, où ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, f est la fréquence coté terre et coté illumination, et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales ;
- 5 - pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, une correction de déformée est réalisée par variation du déphasage de valeur ΔP ($2\pi/C$) ($f_2 \cos(\phi_2) - f_1$
- 10 $\cos(\phi_1)$) au niveau d'au moins une des portions centrales, où ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, f_2 et f_1 sont les fréquences coté terre et coté illumination, et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des
- 15 moyens illuminateurs émettent des signaux vers l'antenne, une correction de déformées est réalisée par variation du déphasage de ΔP ($2\pi/C$) ($f \cos(\phi_2) - (f + F) \cos(\phi_1) + F_e \cos(\phi'_1)$) au niveau d'au moins une des portions centrales, où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe comptée de même signe que F si les changements de
- 20 fréquence sont dans le même sens, F est la totalité de la translation de fréquence, ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, ϕ'_1 est celui de la direction du foyer, ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des
- 25 moyens illuminateurs reçoivent des signaux, une correction de déformée est réalisée au niveau d'au moins une des portions centrales par variation du déphasage de ΔP ($2\pi/C$) ($f \cos(\phi_2) - (f + F) \cos(\phi_1) - F_e \cos(\phi'_1)$), où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe comptée de même signe que F si les changements de fréquence sont dans le même
- 30 sens, F est la totalité de la translation de fréquence, ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, ϕ'_1 est celui

de la direction du foyer et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales ;

- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, une correction de déformée est
- 5 réalisée au niveau d'au moins une des portions centrales par variation du déphasage de ΔP ($2\pi/C$) ($f \cos(\phi_2) + F_e \cos(\phi'_2) - (f + F) \cos(\phi_1)$), où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe comptée de même signe que F si les changements de fréquence sont dans le même sens, F est la totalité de la translation de fréquence, ϕ_1 est l'angle
- 10 d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, ϕ'_2 est celui de la direction du foyer sol ou du foyer opposé et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales ;
- l'antenne dispose de moyens pour mesurer ou reconstituer la déformée (ΔP) transversale au plan de l'antenne ;
- 15 - l'antenne comporte des moyens pour comparer les phases et/ou retards d'au moins un signal émis par les moyens illuminateurs et reçu en différents points de l'antenne et des moyens pour déterminer en fonction de cette comparaison la déformée (ΔP) transversale au plan de l'antenne ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des
- 20 moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, une correction de déformée est réalisée par variation du déphasage de valeur ΔP ($2\pi f/C$) ($\cos(\phi_2) - \cos(\phi_1)$) au niveau d'au moins une des portions centrales, où ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, f est la
- 25 fréquence coté terre et coté illumination, et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, une correction de déformée est
- 30 réalisée par variation du déphasage de valeur ΔP ($2\pi/C$) ($f_2 \cos(\phi_2) - f_1 \cos(\phi_1)$) au niveau d'au moins une des portions centrales, où ϕ_1 est l'angle

d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, f_2 et f_1 sont les fréquences coté terre et coté illumination, et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales ;

- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des
5 moyens illuminateurs émettent des signaux vers l'antenne, une correction de déformées est réalisée par variation du déphasage de ΔP ($2\pi/C$) ($f \cos(\phi_2) - (f + F) \cos(\phi_1) + F_e \cos(\phi'_1)$) au niveau d'au moins une des portions centrales, où f est la fréquence coté terre, F_e est la valeur de la translation externe comptée de même signe que F si les changements de
10 fréquence sont dans le même sens, F est la totalité de la translation de fréquence, ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, ϕ'_1 est celui de la direction du foyer, ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des
15 moyens illuminateurs reçoivent des signaux, une correction de déformée est réalisée au niveau d'au moins une des portions centrales par variation du déphasage de ΔP ($2\pi/C$) ($f \cos(\phi_2) - (f + F) \cos(\phi_1) - F_e \cos(\phi'_1)$), où f est la fréquence coté terre, F_e est la valeur de la translation externe comptée de même signe que F si les changements de fréquence sont dans le même
20 sens, F est la totalité de la translation de fréquence, ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, ϕ'_1 est celui de la direction du foyer et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des
25 moyens illuminateurs reçoivent des signaux, une correction de déformée est réalisée au niveau d'au moins une des portions centrales par variation du déphasage de ΔP ($2\pi/C$) ($f \cos(\phi_2) + F_e \cos(\phi'_2) - (f + F) \cos(\phi_1)$), où f est la fréquence coté terre, F_e est la valeur de la translation externe comptée de même signe que F si les changements de fréquence sont dans le même
30 sens, F est la totalité de la translation de fréquence, ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, ϕ'_2 est celui

de la direction du foyer sol ou du foyer opposé et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales.

PRESENTATION DES FIGURES

5

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront encore de la description qui suit. Cette description est purement illustrative et non limitative. Elle doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- 10 - la figure 1 est une représentation schématique d'un système conforme à un mode de réalisation possible pour l'invention ;
- la figure 2 est une représentation synoptique des différentes fonction réalisées par les différents pavés de l'antenne ;
- la figure 3 est une représentation schématique d'une mosaïque de
- 15 faisceaux qui peut être obtenue avec un système conforme à un mode de réalisation possible de l'invention ;
- les figures 4 et 5 représentent schématiquement deux géométries de prise d'image dans le cas d'une application à l'imagerie micro-ondes.

20 DESCRIPTION DETAILLEE D'UN OU PLUSIEURS MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

1. DESCRIPTION GENERALE

25 1.1 Introduction

On a représenté sur la figure 1 un système comportant un premier satellite, référencé par 1 et appelé par la suite satellite prisme, ainsi qu'un deuxième satellite, référencé par 2 et appelé par la suite satellite

30 illuminateur.

Le satellite prisme 1 porte une antenne RF, tandis que toutes les fonctions centrales de charge utile sont déportées dans le satellite 2,

l'interface bord-sol de l'ensemble pouvant être assurée au travers du satellite 2.

Celui-ci est sur la même orbite que le satellite 1 et en est typiquement décalé de 100 km. A la réception comme à l'émission,
5 l'antenne du satellite 1 dévie le signal d'illumination, l'amplifie, et le focalise dans les directions commandées par la mission.

Ladite antenne 1 est constituée par une antenne active qui en fonctionnement à l'émission ou à la réception reçoit sur une de ses faces les signaux RF et les rayonne (vers la terre ou vers le satellite 2) par son autre
10 face.

Ainsi, cette antenne ne comporte pas de câble à travers lesquels les signaux RF seraient transmis depuis (ou vers) une plate-forme.

L'immunité aux déformations est atteinte quand l'axe moyen de visée mission et celui de l'illumination ont une incidence sur le prisme (angle
15 par rapport à la normale à l'antenne) dont le rapport des Cosinus vérifie des conditions particulières détaillées ci-après fonction des fréquences utilisées à la mission et à l'illumination, un cas particulier étant l'identité des incidences.

Ceci permet d'accroître par 10 les tolérances de déformation
20 macroscopique de l'antenne (exemple 10 cm en bande L au lieu de 1cm), ou d'accroître par 10 les tolérances de connaissance de cette déformation quand une correction électronique est appliquée.

On l'aura compris, une telle structure favorise le déploiement de très grandes antennes (>20 ou 50 m) en simplifiant ou supprimant les
25 mécanismes (plus besoins de forts couples pour déplier les câbles et de contrôle précis de butée) et les raidisseurs.

La multiplication des directions d'illumination à partir de plusieurs sous-ensembles illuminateurs d'un même satellite ou de satellites distincts permet de manière transparente à l'antenne de multiplier la configuration de
30 faisceaux que celle-ci engendre vers le sol.

Le principe peut être étendu au cas d'un illuminateur situé sur une orbite totalement différente de celle du prisme, on peut penser par exemple à un illuminateur géostationnaire d'un prisme en orbite basse. Les

incidences d'illumination et de visée ne sont plus alors stables, mais la condition d'auto-compensation détaillée ci-après peut être maintenue en jouant sur les paramètres tels que la déviation, la fréquence d'illumination ou même éventuellement l'attitude physique du prisme. Par la suite de cette

5 étude on ne considère que le cas de deux satellites sensiblement sur la même orbite.

Dans une variante où la même face assurerait la liaison vers les illuminateurs et vers le sol, l'avantage d'auto-compensation des déformées disparaît mais reste l'avantage de la disparition des câbles et de la

10 multiplication transparente des faisceaux en présence de plusieurs sous-ensembles illuminateurs. Par la suite, on ne décrit que la configuration avec les signaux transitant entre les faces.

La description qui suit considère toujours une zone utile de travail de l'antenne située sur la terre, on peut imaginer aussi que l'antenne vise

15 une zone située dans l'espace (par exemple à des fins d'astronomie spatiale, ou de liaison avec d'autres satellites). On peut aussi imaginer que les satellites illuminateurs et prisme sont en orbite autour d'un astre autre que la terre.

20 1.2 Géométrie générique

La figure 1 donne la géométrie générique, l'allure réelle diffère suivant le type de mission, Radar ou télécom, orbite basse ou géostationnaire. On notera que dans tout le présent texte, le terme Radar

25 inclut l'ensemble de l'observation ou détection radiofréquence, passive ou active.

L'illuminateur I est nominalelement situé sur l'axe $-Y$, le vecteur vitesse est sur Y de sens indifférent, le vecteur P est normal au plan de l'antenne. Le faisceau d'antenne vise le sol dans une gamme fixée par la mission

30 (vecteur R). L'onde se propage entre l'illuminateur et le point au sol, dans un sens et/ou dans l'autre au travers de l'antenne.

Le prisme réalise une déviation simple ou combinée selon que les vecteurs R , P et AY sont coplanaires ou non. Pour une déviation simple, on a en général $\phi_2 + \phi_1$ proche de 90° .

5 1.3 Translation de fréquence interne et/ou externe

Lorsque le prisme réalise une amplification, c'est à dire dans le cas général d'application du concept, le couplage parasite entre les deux faces ne doit pas ramener à l'entrée de la réception arrière le signal émis à l'avant avec un niveau plus fort que 20 dB sous le signal arrière. Un tel découplage n'est pas facile à assurer dans tous les cas. Le seul moyen de s'en affranchir radicalement est de créer dans le prisme une translation de fréquence à utiliser dans l'une et/ou l'autre des liaisons émission et réception. Par ailleurs cette translation peut être requise pour des raisons réglementaires, la liaison arrière étant une liaison intersatellite relevant d'attributions spécifiques de fréquences. Ce dernier point doit néanmoins pouvoir être contourné car ici les niveaux d'émission et les trajets de liaison sont bien plus petits que pour une liaison intersatellite classique.

La fréquence d'illumination est $F+f$, f est la fréquence utilisée par la mission coté terre, F est positif ou négatif. Dans le cas générique la translation de fréquence F réalisée dans le prisme est la combinaison de deux translations dont l'une dite interne utilise un ton engendré dans l'antenne de fréquence F_i et l'autre dite externe utilise un ton de translation de fréquence F_e issu (ou dont la référence servant à la construire par multiplication est issue) de l'illuminateur, et telles que $F = F_i + F_e$. En présence de plusieurs illuminateurs, un seul appelé foyer émet F_e . F et F_e sont de même signe si la translation F_e et la translation F sont de même sens. En présence de plusieurs illuminateurs, un seul appelé foyer émet F_e .

30 1.4 Géométrie d'auto-compensation des déformées

Une antenne réseau utilise des fonctions de retards et/ou des fonctions de déphasages bien qu'idéalement elle ne devrait utiliser que des retards. Le déphasage constitue un faux retard car variable selon les composantes fréquentielles du signal mission et modulo (λ). Quelques
 5 soient les termes utilisés dans la description qui suit, il y a une certaine latitude suivant le type d'application d'interchanger déphasages et retard, même si la déviation principale réalisée par le prisme gagne du fait de son ampleur à l'emploi du retard pur.

On considère le fonctionnement en émission vers la terre. Le cas de
 10 la réception est identique lorsque que F_e est nul car tous les dispositifs sont alors réciproques. Les particularités introduites par F_e non nul sont vues plus loin.

On modélise l'antenne par un champ de déformations (de type non-
 15 planéité) Δp selon P autour d'un plan moyen que l'on suppose dans un premier temps normal à P , les erreurs d'attitude du plan moyen seront analysées ensuite. L'auto-compensation est atteinte quand pour tout point du prisme, sa projection dans le plan normal à R voit l'onde avec une phase inchangée, ou encore que la projection de Δp sur R a un effet en phase identique et opposé sur des deux cotés du prisme. Pour un illuminateur
 20 unique ou confondu avec le foyer, l'effet en phase est $2\pi \Delta P \cos(\phi_1)(F+f)/C - 2\pi \Delta P \cos(\phi_1)F_e/C$ à l'illumination et $- 2\pi \Delta P \cos(\phi_2) f/C$ à l'émission avec ϕ_2 et ϕ_1 incidences de l'onde sur le prisme coté terre et coté illumination. L'auto-compensation est obtenue pour: $\cos(\phi_2)/\cos(\phi_1) = (F_i+f)/f$

25 La translation externe n'intervient pas dans la géométrie d'auto-compensation (nous verrons plus loin que F_e intervient par contre sur l'évolution de cette géométrie pour des illuminateurs situés en écart du foyer). Les visées vers la terre réalisant l'auto-compensation sont sur un cône d'axe normal au prisme.

30 La phase vue par la projection dans le plan d'onde de chaque point d'antenne ne varie pas avec la déformation mais la position de la projection dans ce plan d'onde bouge. Il y a deux translations dans le plan d'onde qui

se cumulent, une liée à l'illumination en $\Delta P \sin(\phi_1)$ et l'autre liée à la liaison mission en $\Delta P \sin(\phi_2)$. La validité du principe prisme peut être affectée au-delà d'un certain gradient concernant la distribution d'amplitude et de phase dans le plan d'onde. Si cette distribution n'est apportée que par le prisme,

5 seule compte la translation en aval (à l'illumination pour le trajet réception, à l'émission prisme pour le trajet émission) d'éclairement (tel que vue dans le plan d'onde). Nous verrons plus loin une option du dispositif permettant de corriger ces effets.

10 1.5 Résidu d'auto-compensation et amplitude de balayage

Pour une modification $(\delta\phi_1, \delta\phi_2)$ de la géométrie, le résidu d'auto-compensation est en $\Delta P (-\sin(\phi_1) (F_i+f) \delta\phi_1 + \sin(\phi_2) \delta\phi_2 f)$. C'est essentiellement la deuxième composante qui compte car c'est celle qui

15 résulte du balayage nécessaire pour la mission. La composante de balayage mission à iso-incidence n'a aucun effet sur le résidu.

On se fixe un seuil de résidu de $0,1 \Delta P$, c'est à dire une réduction de sensibilité à la déformation d'un facteur 10. Pour $F_i = 0$, et une déviation simple on a $\phi_1 = \phi_2 = 45^\circ$ et $\delta\phi_2 = \pm 10^\circ$. Si F_i est positif, on peut accroître

20 le balayage mission. Par exemple avec un rapport 5, on a, toujours dans le cas d'une déviation directe, $\phi_1 = 79^\circ$, $\phi_2 = 11^\circ$ et il n'y a plus de réelle limitation sur la gamme de balayage incidence ($> \pm 25^\circ$). Par contre l'impact de l'erreur d'attitude du prisme sur la position de la visée d'auto-compensation est accrue si F_i est positif. En effet dans le pire cas d'une

25 déviation simple, un erreur d'attitude modifiant de $\delta\phi$ l'incidence de la visée et de $-\delta\phi$ celle de l'illumination occasionne un résidu en $(\sin(\phi_1) (F_i+f) + \sin(\phi_2) f) \delta\phi$ qui pour être compensé nécessite un changement d'incidence de visée $\delta\phi_2 = -(1 + \text{Tg}(\phi_1)/\text{Tg}(\phi_2)) \delta\phi$, soit un changement absolu de la visée d'auto-compensation de $\text{Tg}(\phi_1)/\text{Tg}(\phi_2)) \delta\phi$. Pour $(F_i+f)/f = 5$, la

30 sensibilité est de 26 au lieu de 1 en absence de translation interne.

La contrainte de planéité passe typiquement de $\lambda/20$ on passe à $\lambda/2$. Par exemple en bande L, la tolérance de 10 cm correspond au ventre maximal que ferait une dimension d'antenne de 20 m obtenue par 10 panneaux rigides reliés avec des mécanismes sommaires n'assurant que 0,5° de précision de calage. Compte tenu par ailleurs des faibles couples de déploiement en absence de câbles RF on pourrait utiliser des mécanismes à mémoire de forme. En bande P (tolérance 35cm), la planéité n'est plus jamais un problème. Mais comme on va le voir le concept permet même d'aller plus loin en supprimant toute exigence de planéité!

10

1.6 Correction électronique de la déformée

Si la déformée peut être connue ou mesurée, on peut alors par déphasage retrancher le résidu de compensation: $\Delta P(\cos(\phi_1)(F_i+f) - \cos(\phi_2)f)$. Dans ce cas le relâchement amené par le prisme ne porte plus que sur la précision de connaissance δP de la déformée, l'exigence de planéité étant elle supprimée. Ce relâchement amené par le facteur $(\cos(\phi_1)(F_i+f) - \cos(\phi_2)f)$ est lié aux écarts de géométrie (gamme de balayage) comme précédemment pour le relâchement sur la planéité en absence de correction électronique. Une connaissance pouvant être envisagée à mieux que $\lambda/2$, surtout en bande L, la correction électronique permet a la fois de libérer la planéité et d'élargir la gamme de balayage. On verra plus loin que les signaux d'illumination offrent un moyen direct de mesurer les déformations avec la modeste précision requise.

La correction électronique peut aussi s'appliquer à l'effet de translation dans le plan d'onde de la loi d'éclairement, à partir des connaissances des deux composantes de translation de la loi d'éclairement: $\Delta P \sin(\phi_1)$ et $\Delta P \sin(\phi_2)$. On ne dispose dans cette correction d'aucun relâchement par rapport au cas d'une correction électronique dans une antenne normale, mais la sensibilité des erreurs est moins grande (pour la plupart des lois d'éclairement).

30

1.7 Exemples de géométrie avec $F_i=0$

- 5 - Satellite de télécom géostationnaire. On vise généralement autour du nadir. Le vecteur P est contenu dans le plan de l'orbite et incliné de 45° par rapport à la verticale. La déviation est simple. Le facteur de relâchement sur la déformation est de 10 (balayage $< \pm 10^\circ$) L'illumination comme le rayonnement mission utilisent l'antenne dans un rapport 0,7 selon l'axe Y, il n'y a pas de perte d'efficacité dans l'autre direction.
- 10 - Satellite à visée latérale Radar ou télécom en orbite basse. Cela est obtenu à partir du cas qui précède par une rotation roulis par exemple de 45° (balayage 35° à 55°) car le fonctionnement du prisme ne dépend pas de l'angle roulis.
- 15 - Satellite de type VOILE Radar ou télécom: Le plan du prisme est vertical (contient l'axe AZ). Pour une visée principale latérale à 45° d'incidence le vecteur P s'écarte du plan de l'orbite de 35° . La déviation est combinée. Une structure de satellite VOILE a en particulier été décrite dans la demande de brevet FR 96 03434 de la demanderesse.
- 20 - Mission à fauchée en orbite basse (Radar ou télécom). Avec P dans le plan de l'orbite, le cône de visée d'auto-compensation rencontre la terre selon une ligne globalement transversale à la trace et permet un mode de fauchée défilante. Le relâchement de déformation est total si le faisceau peut suivre cette ligne.

25 1.8 Discrétisation du couplage entre faces

Les contraintes de mise en œuvre (voir § 3) amènent à discrétiser le couplage entre faces selon un maillage de pavés. Les déformations locales au niveau du pavé ne sont pas auto-compensées. Sur des dimensions

30 réduites on peut facilement imposer la planéité, par contre du fait de la déformation générale le plan du pavé peut s'écarter du plan moyen de l'antenne, surtout si le pavé constitue le panneau d'antenne à déployer. Ce

point peut amener à avoir plusieurs pavés par panneau, même en absence de déformation interne au panneau, tout cela dépend du profile des déformations. On montre que, si l'échelle de la déformation est principalement la dimension de l'antenne (profile cuvette, cas général des effets thermo-élastiques) dans une enveloppe $\lambda/2$, un seul pavé par panneau suffit dès lors qu'il y a au moins 10 pavés sur chaque dimension.

Si on dispose de la connaissance de la déformée on connaît alors les erreurs d'alignement des pavés, on peut les corriger au niveau des déphaseurs de l'antenne réseau et admettre des profiles de déformation plus rapides sans densifier le maillage. On ne dispose toutefois pour ces corrections locales d'aucun relâchement sur la précision de connaissance. Par contre si la connaissance s'appuie (avec ou sans mesure) sur un modèle de déformation, la précision locale est en général meilleure.

2. FONCTIONNEMENT EN PRESENCE DE DISPERSIONS (ATTITUDE, ILLUMINATEURS DECALES OU MULTIPLES, ERREURS DE FREQUENCES..)

2.1 Modélisation du satellite prisme 1 pour de petits écarts géométriques

Ce qui suit a pour but d'analyser le fonctionnement du satellite prisme 1 en présence de petits écarts angulaires d'attitude du satellite prisme 1 ou de position de l'illuminateurs et les effets en terme d'écart de visée par rapport à une visée de référence R.

- Appelons respectivement face équivalente arrière et avant du satellite prisme 1 les projection du satellite prisme 1 sur les plans orthogonaux à AY et à R. Ces deux transformations depuis la face réelle ne conservent en général ni les longueurs, ni les angles. Dans le cas d'une déviation simple, une génératrice du satellite prisme 1 orthogonale

au plan (AY,P,R) reste orthogonale sans changement de longueur, une autre génératrice orthogonale à la première reste orthogonale mais il y a un rapport $\cos(\phi_1)/\cos(\phi_2)$ entre la projection avant et la projection arrière.

5 Le rôle fondamental du satellite prisme 1 peut être décomposé ainsi, quelque soit l'ordre des opérations:

- Translation F_i avec la même phase en tout les points de l'une ou bien de l'autre des faces équivalentes. Ce qui revient à l'appliquer sur la surface réelle selon une loi de retard en plan incliné,

10 - Translation F_e au niveau de la face équivalente ou réelle arrière avec la phase suivant laquelle le signal de translation est reçu sur cette face équivalente ou réelle arrière,

- Liaison entre les points en correspondance des faces équivalentes arrière et avant par un retard fixe constant pour le prisme.

15 Quand l'illuminateur est bien sur l'axe Y, l'incidence de l'onde est nulle et le retard d'onde est constant sur toute la surface de chacune des faces équivalentes.

2.2 Ecart d'illuminateur

En absence de translation de fréquence, un écart d'illuminateur
 20 correspond à une incidence δ_i sur la face équivalente arrière et entraîne une rampe de phase avec une pente en $\delta_i f$ (pour de faibles valeurs δ_i). Cette rampe est reproduite sur la face équivalente avant, son orientation et sa longueur sont transformées selon la relation de projection entre faces équivalentes. La pente de la rampe et donc l'incidence créée en face
 25 équivalente avant sont reproduites dans de rapport des longueurs. Dans le cas général la géométrie des écarts d'illuminateurs et de faisceaux respectivement projetés dans les faces équivalentes avant et arrière n'est pas conservée, il y a une anisotropie. Dans le cas particulier d'une déviation directe, si l'écart de l'illuminateur est dans le plan (AY,P,R), la rampe de
 30 phase est alignée dans ce plan pour toutes les faces, les écarts restent dans ce plan et sont des écarts d'incidence. De même les écarts orthogonaux le restent et sont des écarts iso-incidence. L'anisotropie porte

sur une modification des écarts d'incidence seulement, par $\cos(\phi_1)/\cos(\phi_2)$.

En présence d'une translation de fréquence interne F_i seule, la rampe de phase en face équivalente arrière est en $\delta_1 (F_i+f)$ et reste inchangée après passage à la fréquence f . La rampe sur la face équivalente avant est donc accrue du rapport $(F_i+f)/f$. La translation interne modifie la fonction de transfert des écarts par le rapport $(F_i+f)/f$.

La translation externe est sans effet sur l'illuminateur qui émet cette fréquence de translation (foyer), tout se passe comme si cet illuminateur émettait directement à F_i+f . Dans le cas d'un foyer lui même en écart, on considère le satellite prisme 1 selon un nouveau modèle avec un nouvel axe AY passant par le foyer et un nouvel axe R correspondant au faisceau qu'engendrerait un illuminateur virtuel accompagnant le foyer et donc déduit de l'ancien R par l'écart engendré par l'ancien prisme soumis à l'écart de cet illuminateur virtuel et fonctionnant à $F_e = 0$. Dans ce nouveau prisme avec ses nouvelles faces équivalentes, pour un illuminateur en écart du foyer, la translation externe œuvre comme une translation interne et la fonction de transformation de l'écart est en $(F_i+F_e+f)/f$.

On peut conclure, dans tous les cas, que le satellite prisme 1 travaille comme une lentille dont l'illuminateur serait placé dans un repérage $R_x R_z$ (voir figure 1), issu du repérage d'écart vrai XIZ par la même transformation que celle entre face équivalente arrière et avant, suivie d'une amplification/réduction des longueurs en $(F_i+f)/f$ pour ce qui concerne l'écart du foyer au tour de AY et $(F+f)/f$ pour ce qui concerne l'écart entre un illuminateur et le foyer.

Pour une géométrie à déviation simple et en auto-compensation avec $F_i = 0$ (voir exemple satellite télécom en § 1.7) on a $\cos(\phi_1)/\cos(\phi_2)=1$ et on dispose alors d'une transformation isotrope avec amplification/réduction en $(F_e+f)/f$. Dans le cas d'un prisme télécom, un écart selon X est reproduit au sol avec une empreinte de faisceau déplacée selon $-X$ tandis qu'un écart selon Z donne un déplacement selon Y . L'auto-compensation obtenue avec F_i non nul, introduit l'anisotropie dans une déviation directe, car la fonction

de transfert en incidence devient $(\cos(\phi_1)/\cos(\phi_2)) (f_i + f_e + f)/f = (f_i + f_e + f/f)/f$, tandis qu'elle est $(f_i + f_e + f)/f$ sur l'autre axe. Ce rôle de f_i sur l'anisotropie se trouve pour tout type de prisme en auto-compensation car f_i détermine le rapport des surfaces équivalentes avant et arrière.

- 5 Un écart illuminateur $\delta\phi_1$ déplace la visée sol d'auto-compensation de $\delta\phi_2$. Si $f_e = 0$, on a $\delta\phi_2$ tel que le résidu total $(-\sin(\phi_1)(f + f_i) \delta\phi_1 + \sin(\phi_2) f \delta\phi_2)$ soit nul. Si f_e est non nul, en considérant que le foyer n'est pas en écart au besoin en considérant un nouveau modèle de satellite
- 10 prisme 1 supprimant cet écart, un autre illuminateur en écart $\delta\phi_1$ par rapport à ce foyer a une visée d'auto-compensation en écart $\delta\phi_2$ par rapport à la visée d'auto-compensation du foyer telle que $-\sin(\phi_1)(f + f_i + f_e) \delta\phi_1 + \sin(\phi_2) f \delta\phi_2$ soit nul. De manière générale, la différence entre les incidences des visées d'auto-compensation correspondant à deux illuminations et la différence des incidences de ces deux illuminations sont
- 15 dans le rapport $\sin(\phi_1)/\sin(\phi_2) (f + F)/f$.

2.3 Fonctionnement avec un bouquet d'illuminateur

Le prisme étant un système linéaire, plusieurs illuminateurs en écart par rapport à AY donnent plusieurs faisceaux en écart par rapport à R, de manière totalement transparente pour le prisme.

- 20 Une configuration multi-faisceaux facilement maîtrisable est celle qui résulte d'illuminateurs décalés sur l'orbite et donc vus décalés sur AZ du fait de la courbure de l'orbite. Elle confère un alignement de faisceaux le long de l'orbite dans le cas de la géométrie de satellite de télécom, un alignement de faisceaux transversal à l'orbite dans la géométrie Voile (voir
- 25 exemples de géométrie en §1.7).

- Comme une antenne classique, le satellite prisme 1 peut discriminer différents canaux (temporels ou fréquentiels) émis par un illuminateur et leur affecter un faisceau distinct. Pour une mission nécessitant un grand nombre de faisceaux, il est possible de combiner la fonction multi-faisceaux externe
- 30 issue de la multiplicité d'illuminateurs avec la fonction multi-faisceaux interne rendue par le satellite prisme 1 à chaque illuminateur afin de faciliter

la mise en place de grande mosaïque de faisceaux. Le § 4 reprend plus en détail l'application télécom en donnant aux illuminateurs la fonction de motif proche au sein d'une grande mosaïque.

2.4 Avantage apporté par la translation de fréquence

- 5 L'amplification/réduction des écarts (ou incidences sur face équivalente avant) de chacun des faisceaux, amenée par le rapport $(F+f)/f$ s'applique aussi aux écarts entre faisceaux. C'est l'ensemble du bouquet de faisceaux formé par le bouquet d'illuminateurs qui s'ouvre ou se ferme en fonction du rapport $(F+f)/f$. La vocation première du prisme étant plutôt la
- 10 basse fréquence (qui conduit à de grandes antennes) et compte tenu des fréquences élevées des liaisons intersatellite (>20 ou 40 GHz), on voit que l'on peut obtenir des rapports d'amplification de plus de 20. Comme les contraintes de mise en œuvre (voir § 3.1) limitent l'écart entre faisceaux cotés terre à quelques degrés, avec de tels rapports d'amplification l'écart
- 15 entre illuminateurs n'est alors que de quelques 10^{-3} radian. Les illuminateurs peuvent ainsi faire l'objet d'un seul satellite multi-illuminateur avec des bras de 5 m maximum pour une distance au satellite prisme 1 de 5 km (pour 10^{-3}).

- Pour les cas de missions où les illuminateurs ne peuvent être
- 20 rassemblés dans un même satellite, on peut avoir intérêt à utiliser la réduction d'écart (si la basse fréquence $f-|F|$ peut se loger dans une attribution inter-satellite) afin de relâcher la contrainte sur la navigation relative des illuminateurs.

2.5 Comportement vis à vis de l'attitude du satellite prisme

25 1

- Un changement d'attitude du satellite prisme 1 combine deux effets quant à la position au sol de l'empreinte du faisceau, l'effet induit par le mouvement de l'illuminateur dans un repère lié au satellite prisme 1 et l'effet direct du changement d'attitude du repère. D'après ce qui précède (§2.2), le
- 30 mouvement induit par un illuminateur quelconque si $F_e = 0$ ou par le foyer dans le cas contraire est d'une amplitude dans le rapport $(F_i+f)/f$ du

mouvement direct et on constate que, pour de fortes valeurs de $(F_i + f)/f$, la sensibilité à l'attitude est globalement accrue. Par contre si F_i est négatif ou nul, c'est l'inverse ou équivalent.

Dans tous les cas, une erreur d'attitude roulis, n'engendre que l'effet direct, puisque l'illumination arrière de l'antenne est inchangée Si le satellite prisme 1 est en géométrie d'auto-compensation, un erreur d'attitude autour d'un axe contenu dans le plan du prisme est sans effet car est assimilable à une déformation transverse au prisme. L'évolution fonction de F_i de l'effet induit n'intervient que sur le troisième axe d'attitude orthogonal aux deux premiers, c'est à dire sur l'axe lacet dans le cas du prisme télécom, sur l'axe tangage pour le prisme VOILE.

Toujours dans le cas d'une géométrie de compensation, décomposons le vecteur d'erreur d'attitude selon une composante ρ le long de l'axe roulis AY et d'une composante σ dans le plan du prisme. La composante σ est sans effet sur la phase des points projetés dans un plan normal à R . Par contre la translation des points dans ce plan correspond à une rotation autour de R de valeur égale à la projection de σ sur R . Donc le vecteur d'écart δR est le résultat d'un effet de roulis ρ sur R et de rotation de cet effet autour de R de valeur $(\sigma \cdot R)$.

Dans le cas d'un prisme télécom à visée au nadir, pour une erreur en tangage t , on a $\rho = 0$ et donc aucun effet. Pour une erreur en lacet l , on a $|\rho| = l / \text{Tg}(\phi_1)$ et $|\sigma| = l / \text{Sin}(\phi_1)$. La rotation roulis ρ est combinée avec une rotation autour de R et donc en lacet de valeur $\text{Cos}(\pi/2 - \phi_1) / \text{Sin}(\phi_1) = l$. La rotation lacet est identique à celle d'une antenne normale, s'y rajoute un roulis en $l / \text{Tg}(\phi_1)$. Pour $F_i = 0$ le roulis est de même amplitude que le lacet. On retrouve ce même résultat en constatant qu'en tangage les deux mouvements direct et induit se compensent, en lacet le mouvement induit se transforme en roulis et se superpose au mouvement direct lacet.

2.6 Fonctionnement en réception avec F_e non nul

Tout ce qui précède s'applique aussi bien à l'émission qu'à la réception pourvu que F_e soit nul. Dans le cas contraire, le fonctionnement

des écarts d'illuminateurs est conservé mais pas l'auto-compensation. Il y a plusieurs options de modification du dispositif pour conserver équivalent en réception.

5 2.6.1 Translation réception avec signal foyer réception sol.

Considérons un foyer réception au sol selon une incidence ϕ_2 , ϕ_1 étant l'incidence selon laquelle un illuminateur reçoit le signal. Considérons une visée sol d'incidence $\phi_2 + \delta\phi_2$, le résidu total de
10 compensation est en $\text{Cos}(\phi_1)(F+f) - \text{Cos}(\phi_2) f - \text{Cos}(\phi_2) F_e + \text{Sin}(\phi_2)\delta\phi_2 f$. L'auto-compensation est obtenue lorsque:

$$\delta\phi_2 = (\text{Cos}(\phi_2)(f+F_e) - \text{Cos}(\phi_1)(F+f)) / (\text{Sin}(\phi_2) f),$$
 ce qui définit au sol une ligne d'auto-compensation réception.

Le résidu de déformée est sensible à l'écart de visée autour de cette
15 ligne (en $\text{Sin}(\phi_2)\delta\phi_2 f$) et à l'erreur d'attitude $\delta\phi$ du prisme en $(\text{Sin}(\phi_1)(F+f) \delta\phi + \text{Sin}(\phi_2) (F_e+f) \delta\phi)$ dans le cas défavorable d'une déviation simple. Le premier terme est inchangé par rapport au cas de l'émission, par contre il apparaît une sensibilité supplémentaire à l'attitude en $(\text{Sin}(\phi_1)F_e + \text{Sin}(\phi_2) F_e) \delta\phi$ qui peut être pénalisante si F_e est positif et grand devant f ou
20 devant F_i+f .

En choisissant $F_i=0$ et $\phi_1 = \phi_2$, la ligne d'auto-compensation émission réalise aussi l'auto-compensation de réception, mais le foyer réception doit être sur cette ligne. Il est ainsi possible d'ajuster F_i et F_e pour avoir les lignes d'auto-compensation émission et réception très proches même si le
25 foyer réception ne peut être à proximité de cette ligne.

Cette solution de foyer sol de réception est délicate à utiliser en orbite défilante sauf si F_e est petit, car la correspondance des lignes d'autocompensation ne peut être maintenue.

30 2.6.2 Foyer réception sur orbite en opposition de l'illuminateur.

Une position particulière du foyer réception est sur l'orbite avec un moyen illuminateur situé du côté opposé par rapport au prisme. On a alors $\phi_2 = \phi_1 + \gamma$, γ négatif et petit du à la courbure de l'orbite. D'après ce qui précède, la visée auto-compensation est obtenue pour $\delta\phi_2 = -F_i \text{Ctg}(\phi_1)/f - \gamma(f+Fe/f)$ et une incidence $\phi_1 + \gamma + \delta\phi_2 = \phi_1 - (F_i \text{Ctg}(\phi_1) + \gamma Fe) / f$.

Puisque γ est négatif, il est donc possible d'ajuster F_i et Fe pour que l'auto-compensation à la réception se fasse à la même incidence qu'à l'émission, c'est à dire à ϕ_1 , par exemple en prenant $F_i = 0$ à l'émission et F_i , Fe à la réception tels que $F_i \text{Ctg}(\phi_1) + \gamma Fe = 0$.

L'avantage de cette solution par rapport à la précédente est qu'il n'y a pas d'effet supplémentaire de l'erreur d'attitude sur le résidu si F et Fe sont proches (F_i faible) car les effets sur ϕ_1 et ϕ_2 sont identiques alors qu'ils s'opposaient avec un foyer sol. Enfin cette solution est valable pour tout type d'orbite. Un inconvénient est qu'en absence de fréquence interne on ne peut pas faire correspondre l'auto-compensation émission avec celle de la réception et l'écart peut être grand si Fe/f est grand.

2.6.3 Utilisation à la réception du signal foyer émission de manière négative

Si maintenant, on utilise pour la réception, la fréquence de translation du foyer émission avec une translation de signe opposé, c'est à dire inverse de ce qui est nécessaire pour passer de f à $f+F$, en complétant ensuite avec la fréquence interne. On a alors le résidu total en:

$$\text{Cos}(\phi_1)(F_i+Fe+f) + \text{Cos}(\phi_1) Fe - \text{Cos}(\phi_2) f = \text{Cos}(\phi_1)(F_i+2Fe+f) - \text{Cos}(\phi_2) f, \text{ avec } Fe \text{ et } F_i \text{ de signes opposés.}$$

Avec $F_i = F_i' - 2Fe = F - Fe$ on a la même condition d'auto-compensation que pour l'émission avec une translation interne F_i' .

Seule la composante F_i' de F_i est appliquée sur la face réelle avec une rampe de phase (ou de retard) comme pour une translation interne

normale. La composante $F_i'' = -2F_e$ est appliquée sur la face réelle sans rampe de retard. On peut considérer que la translation est opérée sur la face équivalente arrière que l'on peut toujours définir normale à direction du foyer. Cette translation mélange un signal F_e qui a auparavant traversé
 5 orthogonalement cette face pour réfléchir sur la face réelle et revenir avec une rampe de phase due à ce double trajet, et un signal F_i'' dont la rampe de phase est due au trajet simple depuis la face réelle. Si $|F_i''| = 2|F_e|$ les deux rampes sont de même amplitude, et se compensent puisque la translation de F_e est négative. Seule reste éventuellement la rampe de
 10 phase issue d'une incidence de signal mission f sur la face avant reproduite à l'arrière après anisotropie et amplification/réduction en $f/(F_i' - F_e + f) = f/(F + f)$ comme pour un prisme normal.

On vérifie que les sensibilités de la visée d'auto-compensation aux écarts de l'illuminateur foyer émetteur de F_e , aux écarts de l'illuminateur par
 15 rapport au foyer, et à l'attitude du prisme sont les mêmes que celles exprimées aux § 1.5 et 2.2 dans le cas de l'émission avec translation interne F_i' et externe $-F_e$ (c'est à dire F_e positive). De même, indépendamment de la condition géométrique d'auto-compensation, l'effet sur les faisceaux de réception des écarts d'illuminateurs et entre illuminateurs ou de l'attitude du
 20 prisme sont inchangés.

C'est la solution idéale dès lors que l'on consent à avoir une fréquence interne.

2.6.4 Translation réception avec le signal du foyer émission 25 seul.

Avec $F_i = 0$ il faut alors $F_e < f$ et la condition d'auto-compensation est

$$\cos(\phi_1)(f + F_e) + \cos(\phi_1) F_e - \cos(\phi_2) f = \cos(\phi_1)(f + 2F_e) - \cos(\phi_2) f = 0.$$

 Pour F petit devant f , $\phi_2 - \phi_1 = 2 \cot(\phi_1) F/f$. Si on ne veut pas trop d'écart
 30 en les points d'auto-compensation émission et réception il faut là encore F/f petit.

2.7 Dispersions des fréquences F_i , F_e , f

2.7.1 Variation d'écart dans la bande ΔF

- 5 L'amplification/réduction de l'écart angulaire est en $(F+f)/f$ et varie donc dans la bande Δf . L'erreur relative sur l'écart entre faisceaux est en $-\Delta f/f (F/(F+f))$. Comme l'amplitude angulaire du motif mission crée à partir de plusieurs illuminateurs est limitée à quelques degrés, cela ne pose pas de problèmes avec des bandes relatives de quelques % (et F positif).
- 10 Si on considère les deux trajets, on peut avoir une grande bande relative totale et il peut devenir nécessaire d'avoir une fréquence de translation par trajet.

15 2.7.2 Instabilités relatives sur F_i et F_e

Avec un seul illuminateur et $F_i=0$, tout se passe comme s'il n'y avait qu'une seule source de fréquence.

- L'amplification/réduction de l'écart angulaire est en $f_1/(f_1-F)$ ou f_1 est la fréquence d'émission de l'illuminateur et F celle de la translation de
- 20 fréquence. Si F_i est non nul et/ou en présence de plusieurs illuminateurs, F et f_1 sont des fréquences indépendantes. L'erreur relative sur l'écart angulaire μ qui résulte des instabilités relatives des fréquences s'écrit $\delta\mu/\mu < St - ((f_1 + F)/(f_1 - F)) St$, avec St = stabilité de fréquence relative (inclut aussi le doppler relatif). L'effet est maximal pour $F \gg f$ est vaut = $2 (F/f) St$.
- 25 L'erreur relative sur l'écart entre deux faisceaux quelconques est plus faible car la source d'erreur amenée par l'instabilité de la translation est commune. Avec une stabilité relative de 10^{-5} , c'est à dire aucune précaution particulière, l'erreur angulaire absolue reste insignifiante compte tenu des faibles valeurs d'écart envisagées.
- 30 La fréquence F_i doit être appliquée à phase constante sur la face équivalente de réception (avant ou arrière), c'est à dire sur la face réelle moyennant une pente de retard en $\sin(\phi_1)$ ou une pente de phase en \sin

(ϕ_1) F_i . Une pente de phase peut être plus facile à réaliser, mais établie nominalement pour la valeur théorique F_i , elle introduit une erreur de pente de phase en $\sin(\phi_1) \delta F_i$ en cas d'erreur δF_i sur F_i . Cette erreur est compensée par un écart d'incidence $\delta\phi$ sur la face équivalente avant telle que $\delta\phi \cos(\phi_2) f = \sin(\phi_1) \delta F_i$. Pour une déviation directe on a $\delta\phi = (F_i/f)$ St. Pour $F_i/f = 20$ (grande amplification d'écart) on $\delta\phi < 20 \cdot 10^{-5} < 10^{-2}$ degrés.

Le cas de la translation réception avec foyer émission (voir §2.6.3) est différent car F_i'' est appliqué sans rampe de retard. Par contre ce cas est sensible à la différence entre $|F_i''|$ et $2 |F_e|$ qui engendre une pente résiduelle de phase sur la face équivalente arrière compensée par une incidence $\delta\phi$ du faisceau de réception sur la face équivalente avant telle que $\cos(\phi_2) f \delta\phi = \cos(\phi_1) (|F_i''| - 2 |F_e|)$. Dans une géométrie d'auto-compensation $\cos(\phi_1)/\cos(\phi_2) = (f/(F_i' + f))$ et $\delta\phi < 3 \text{ St } (|F_e|/f) (f/(F_i' + f))$. Pour F_i' positif et une grande amplification d'écart ($|F_e|/f > 20$) on a $\delta\phi < 3 \cdot 10^{-2}$ degrés.

La stabilité relative peut devenir une contrainte si l'ouverture du faisceau mission est inférieure à $0,3^\circ$, soit une dimension effective d'antenne de 38 m en bande L. Cette contrainte peut être contournée en utilisant des lignes à retard pour appliquer F_i et en asservissant $|F_i''|$ sur $2 |F_e|$ au niveau d'un des points de réception de F_e sur le prisme (ou au niveau de la plate-forme).

2.8 Correction électronique de la géométrie (illuminateurs et attitude) à partir des signaux d'illumination

Le satellite illuminateur 2 (dont le centre a été référencé par I sur la figure 1) et le satellite prisme 1 (dont le centre a été référencé par A sur la figure 1) peuvent s'analyser comme deux satellites évoluant dans un tube de certain diamètre. L'axe IA est susceptible de s'écarter de l'axe Y dans le repère du satellite antenne. Rien que l'éloignement des deux satellites et la courbure engendrée constituent un facteur d'écart. On considère par la suite les deux satellites à 100km l'un de l'autre et un tube de 5 km.

Les deux satellites connaissent leur position, celle du satellite 2 peut être transmise au satellite 1 par le canal de servitude qui de toute façon doit exister pour passer les ordres de commandes de l'antenne. A peut donc connaître l'écart d'orientation et supprimer l'effet induit par déphasage au
 5 niveau des points de couplage entre faces. L'erreur d'attitude de l'antenne entache légèrement cet correction de l'effet induit car celle-ci n'est pas faite dans le plan effectif de l'antenne (produit d'ordre 3 des erreurs d'attitude et écart d'illumination), mais surtout l'effet direct de l'erreur d'attitude n'est pas corrigé.

10 En option, on peut aussi mesurer l'attitude du prisme pour la corriger au niveau de l'ensembles des déphaseurs de l'antenne réseau. Il suffit pour cela de mesurer les différences de phases d'illumination entre deux points de réception sur l'antenne et ce pour deux 2 couples de points. Chaque couple permet de mesurer dans le repère du prisme une composante du
 15 vecteur A_I . L'orientation de A_I étant connue, on connaît celle du repère prisme, mis à part sa position en rotation autour du A_I , c'est à dire essentiellement sa position en roulis. Le système devient alors complètement corrigé en attitude, sauf pour l'axe roulis, où tout reste comme pour un satellite classique. Dès lors que l'on dispose d'une
 20 connaissance de l'attitude, s'appuyant ou non sur les signaux d'illumination, on peut choisir indépendamment le type d'effet (attitude ou illuminateur) et l'axe de dispersion que l'on souhaite compenser ou non, ceci afin de conserver certaines fonctions de transfert ou d'auto-compensation naturelles du prisme.

25 La mesure des différences de phase peut se faire avec le signal mission (radar ou télécom) ou par mesure de phase sur un ton de translation externe ou un ton introduit à cet effet. Puisque l'on vise de grandes antennes (>20 m), une précision modeste (1cm) confère déjà une précision d'attitude de 3 centièmes degrés. L'inconvénient, que l'on trouve
 30 déjà si F_i non nul, est la nécessité d'acheminer un signal d'un point à l'autre de l'antenne.

Dans le cas de plusieurs illuminateurs distincts on peut compenser sur un illuminateur particulier ou sur une direction virtuelle d'illumination

repérée par rapport aux illuminations réelles, tandis que la mesure d'attitude utilise le signal d'un ou de plusieurs illuminateurs. L'impact sur la géométrie de faisceaux des variations de la géométrie inter-illuminateurs n'est bien sûr pas corrigé.

5 2.9 Correction électronique de la déformée à partir des signaux d'illumination

La correction de la déformée ΔP (par retranchement du résidu d'auto-compensation $\Delta P(\cos(\phi_1)(F_i+f) - \cos(\phi_2)f)$) est faite au niveau de chaque point de couplage ou au niveau des déphaseurs du pavé d'antenne réseau
 10 associé à un même point de couplage. Dans le deuxième cas on peut interpoler entre les points de couplage. Quelque soit le moyen de mesure, on peut avoir intérêt à coupler cette mesure avec celle de l'attitude du plan moyen obtenue à partir des signaux d'illumination.

Les signaux d'illumination permettent aussi cette mesure en
 15 généralisant pour tous les points de couplage la mesure de phase envisagée pour l'attitude.

2.10 F_i ou F_e ?

F_i peut être plus simple à implanter que F_e . Avec un seul illuminateur, l'intérêt d'un grand rapport $(F_i+f)/f$ pour un prisme auto-compensé est
 20 d'accroître l'incidence d'illumination et ce faisant d'accroître la surface effective de l'antenne pour la mission, de réduire la sensibilité à la gamme de balayage, de diminuer les effets de translation dans le plan d'onde si la loi d'éclairement est faite par le prisme et non par l'illuminateur. Par contre la sensibilité à l'attitude du prisme est augmentée, aussi bien pour la
 25 direction des faisceaux que celle des visées d'auto-compensation. F_i est une bonne solution si le seul besoin est de faire une translation de valeur minimale.

Avec un bouquet d'illuminateur, F_i ne peut apporter une forte amplification ou réduction d'écart à la fois sur les deux dimensions (car F_i
 30 augmente l'anisotropie). Lorsque l'on cherche à intégrer les illuminateurs dans un même satellite une utilisation majoritaire de F_e est nécessaire.

2.11 Combinaisons avec plusieurs prismes

2.11.1 Illuminateurs communs aux deux prismes

Si les satellites prismes 1 sont situés du même côté par rapport aux satellites illuminateurs 2 le long de l'orbite, il convient de les décaler sur une même orbite, ou bien sur des orbites ayant des écarts d'ellipticité et/ou de plan d'orbite afin d'assurer à la fois la non collision et l'absence de masquage de la vue des illuminateurs. La solution de décalage sur la même orbite présente l'inconvénient de dilater ou comprimer la géométrie relative de vue des illuminateurs en raison des différences des distances, ce qui peut être préjudiciable pour les cas où plusieurs prismes concourent à une même mission avec des faisceaux au sol identiques, en particulier dans le cas où un prisme assure l'émission vers le sol, l'autre la réception.

Il est possible de doubler le ou la combinaison de prismes en les mettant de part et d'autre sur l'orbite des mêmes illuminateurs. Pour des prismes opposés devant viser des empreintes de faisceaux identiques au sol, il est nécessaire d'inverser la fonction de transformation d'écart sur l'un des prismes, car sinon les écarts au sol sont inversés du fait de la géométrie miroir.. Ceci est obtenu en passant de $F+f$ à f non pas par un mélange "signal arrière ($F+f$) – référence F " mais par un mélange "référence ($2f+F$) – signal arrière ($F+f$). Les fonctions d'auto-compensation des déformées sont conservées, l'écart est multiplié par le rapport $-(F+f)/f$.

2.11.2 Chaque prisme porte l'illuminateur de l'autre prisme

Certaines missions de télécommunication mettent en œuvre en plus du double trajet mission, un double trajet de connexion vers un ou plusieurs points sol où peuvent être faits les brassages entre faisceaux missions si cela n'est pas fait à bord (dans le ou les illuminateurs dans le cas du prisme) et où peuvent se concentrer les accès avec le réseau terrestre. Dans ce cas les illuminateurs supportent la liaison double trajet de connexion au sol. Lorsque la mission utilise plusieurs prismes, une autre approche consiste à faire porter les illuminateurs d'un prisme par un autre

prisme et vice versa. Les illuminateurs multiples peuvent être disposés sur le pourtour de l'antenne prisme ou encore plus facilement au dos, peu rempli comme on va le voir plus loin, quand il s'agit de prismes opposés par rapport aux illuminateurs.

5 2.12 Cas d'un prisme travaillant en réflexion

Tout ce qui précède pourrait s'appliquer de la même manière à un prisme travaillant en réflexion. Le fonctionnement multi-illuminateur reste le même mais sans l'inversion des écarts, par contre les déformations et les erreurs d'attitude ne sont pas compensées mais doublées.

10

3. ANALYSE D'UNE ARCHITECTURE DE REALISATION

15 3.1 Architecture de l'antenne et du couplage entre faces :

L'antenne prisme est un déviateur de signaux. Autour d'une déviation de base fixe, s'ajoute le balayage de faisceau nécessaire à la mission. La déviation de base doit être obtenue en principe par un retard pur (sauf cas à faible bande relative où un déphasage suffit pour l'ensemble de la déviation) introduit en chaque point entre la face arrière et la face avant. La fonction de retard a pour objet, en s'ajoutant au retard géométrique entre deux points en correspondance des faces équivalentes avant et arrière, de rendre le retard total constant pour tous les couples de points. La fonction de retard est l'opposée du retard géométrique, elle est bi-dimensionnelle pour une déviation combinée. Les valeurs de retard étant de l'ordre des dimensions de l'antenne, il est nécessaire d'échantillonner large cette fonction pour réduire le nombre de retard afin de pouvoir les introduire dans la tranche de l'antenne. Il faut donc mailler l'antenne en pavés contenant un seul point de couplage. Les déformations ne sont alors plus compensées à l'intérieur des pavés mais cela ne nuit pas à l'intérêt du concept car la planéité est surtout difficile à tenir sur de grandes dimensions (voir §1.8).

20

25

30

A l'intérieur d'un pavé, en allant de la face arrière à la face avant, les moyens qui constituent l'antenne réalisent les différentes fonctions suivantes, illustrées sur la figure 2: Regroupement/éclatement arrière (étape 1 sur figure 2), amplification arrière (étape 2), translation de fréquence (étape 3), retard fixe et/ou variable (étape 4), regroupement/éclatement avant (étape 5). Ces étapes sont franchies par le signal dans les deux sens.

La partie en avant du retard est inchangée par rapport une antenne réseau actuelle (qui a aussi besoin de retards fixes et réglables mais que l'on peut laisser dans la plate-forme).

Le regroupement/éclatement n'est pas fait suivant des longueurs égales car doit reproduire la composante avant ou arrière de la fonction de retard vue dans le pavé. Comme pour toute antenne il est généralement organisé en deux étapes d'éclatement/regroupement, une pour chaque dimension de l'antenne. Ici chaque étape peut avoir une rampe de retard à suivre. Au delà d'une certaine pente, il est préférable afin de limiter la longueur des connexions, d'adopter une répartition en branches successives le long d'un tronc aligné sur la dimension assurée par l'étape plutôt qu'un éclatement/regroupement en étoile à longueurs différenciées depuis un point central. Pour une antenne active (avec amplification intégrée), le regroupement/éclatement arrière n'est pas nécessaire si l'on ne prélève le signal qu'en un seul point arrière du pavé. Comme on va le voir il faut malgré tout conserver une surface minimale mais celle-ci est suffisamment petite pour considérer que la fonction d'éclatement fait partie intégrante de l'élément rayonnant arrière. Il est alors possible de garder la face arrière disponible pour d'éventuelles protections thermiques ou raidisseurs comme cela se fait de manière générale, ou pour des cellules solaires dans le cas très particulier de la géométrie VOILE (/1/).

L'amplification /réception arrière met en jeu de très faibles niveau de puissance (voir ci-après) et peut donc se concevoir comme une modification de l'amplification/réception primaire que l'on trouve dans les antennes actives réseau standard pour relayer les signaux de ou vers la plate-forme.

On conclut que:

- Hormis la translation de fréquence, la seule différence significative par rapport à une architecture classique est l'introduction d'un retard fixe à l'intérieur du pavé. Le retard commandable dont le besoin et le dimensionnement sont inchangés (dépend de la largeur de bande et du dépointage mission autour de la déviation de base) doit être également dans le pavé ici.

- Dans le cas où le pavé est le panneau à déployer, le retard fixe n'introduit aucune contrainte supplémentaire, au contraire il vient à la place du câble RF émission/réception reliant le panneau à la plateforme qui fait plus de longueur totale et qui complique le déploiement.

- Le principe doit être appliqué avec discernement afin d'en tirer un bénéfice optimal. Par exemple dans le cas d'une antenne à forme allongée, on ne cherchera à compenser les déformées que sur la longueur, d'autant que cette dernière correspond généralement à l'axe de déploiement le plus affecté par les imprécisions des mécanismes.

3.2 Impact de l'échantillonnage du couplage entre faces (taille des pavés)

Le fait d'avoir échantillonné le couplage entre face peut produire sur la face avant des lois de phases avec des ruptures et des translations entre pavés, à l'origine de lobes de sous-réseaux qui parmi d'autres perturbations amènent une perte de gain d'antenne.

- Quand il n'y a ni d'écart géométrique d'illuminateur ou d'attitude, ni de déformations, il n'y pas de ruptures, car la fonction de retard a été établie à l'intérieur des pavés et entre pavés pour cette configuration. Au pire, comme pour une antenne normale, apparaissent lors de forts dépointages mission des ruptures dues au fait que la fonction de retard commandable est aussi échantillonnée.

- L'écart géométrique induit en face arrière des lois de phase qui se retrouvent en face avant sous une forme échantillonnée et produisent des écarts (dans le repère antenne) de faisceaux avec des lobes de sous-réseaux. Si l'on veut limiter, pour un écart maximal de faisceau de 1° , les lobes de sous-réseaux à -18dB et les pertes de gain à

0,2 dB, il faut un échantillonnage effectif (tel que vue le long de la direction visée) de moins de $7 \lambda_f$ (soit $7\lambda_f$ par $10 \lambda_f$ réels pour le prisme télécom). On peut supprimer la totalité de l'effet induit en appliquant la correction électronique géométrique décrite en §2.8 qui utilise un déphaseur par

5 points de couplage, ou un déphasage identique sur l'ensemble des déphaseurs du pavé. Il n'y a alors plus de limite à l'écart d'illuminateur ou d'attitude. Si l'attitude est connue, on peut indépendamment corriger les écarts d'attitude et d'illuminateur. La suppression de l'effet direct de l'attitude se fait par une rampe de phase qui requiert par contre l'ensemble

10 des déphaseurs du pavé et de l'antenne afin de ne pas recréer de lobes.

- Lorsque les écarts géométriques d'attitude ou d'illuminateur sont absents ou corrigés de leurs effets induits, l'échantillonnage du couplage ne dépend que du profil de déformée autour du plan moyen, le mouvement du plan moyen étant un écart géométrique. On a vu (§1.8) que

15 la correction électronique de déformée combinée avec une rectification des pentes locales des panneaux peut relâcher l'échantillonnage.

- En présence de plusieurs illuminateurs, on ne peut supprimer ou contrôler que l'effet induit de l'attitude et d'une seule direction d'illumination. Cette dernière peut être virtuelle, choisie de préférence au

20 milieu du bouquet des illuminateurs. Les effets induits des écarts d'illuminateurs par rapport à cette direction corrigée traversent le prisme et contraignent l'échantillonnage. Avec un échantillonnage effectif à $7\lambda_f$, on ne pourra disposer que de $\pm 1^\circ$ d'ouverture de bouquet de faisceaux.

3.3 Bilan de liaison arrière, taux de remplissage arrière du

25 pavé

Le gain réception du système que constitue le prisme et l'illuminateur est formé en deux étapes : au niveau du regroupement avant du pavé puis ensuite dans la liaison arrière au niveau de la réception illuminateur. Si s est le rapport signal à bruit maximal de la mission (S/B max.) et p est le nombre

30 de pavés, S'/B' max. en sortie de regroupement pavé est au est s/p . La liaison arrière transporte les p signaux S' et les p bruits B' et rajoute un bruit B'' . Pour que le total des bruits B' ne soit pas affecté de plus de 0,5 dB par

cette liaison il faut que pour chaque pavé on vérifie $B'/B'' > 8/p$. Ce qui permet de déterminer la puissance nécessaire au niveau de chaque pavé pour émettre B' , celle nécessaire quand le signal est présent au maximum est s/p fois plus supérieure. Si l'on considère que l'antenne de l'illuminateur fait 1m^2 de surface, que le total des pertes de réception (+ facteur de bruit) et d'émission fait 8 dB (pessimiste), que la distance fait 100 km, que la largeur de bande mission fait 300MHz, que le pavé est rempli à l'arrière sur une surface effective vue par l'illuminateur de $1,4 \lambda_{F+f}$ par $1,4 \lambda_{F+f}$ (soit pour un prisme télécom, un seul élément rayonnant de surface réelle $2 \lambda_{F+f}$ par $1,4 \lambda_{F+f}$ rendu directif vers l'illuminateur par le couplage de plusieurs rayonneurs élémentaires) alors la puissance à émettre ne dépend pas de λ_{F+f} et est de $0,16 s/p^2$ W. Avec $s = 25$ dB et un minimum de 10 pavés, il faut donc 0,5 W par pavé. Par contre l'amplificateur devant travailler en mode linéaire, on peut prévoir un MMIC standard de 2 à 3 W.

Le signal émis par l'illuminateur doit être reçu par chacun des points de regroupement arrière avec un S/N fort de manière à garder une pureté de signal et assurer que la puissance d'émission avant de l'antenne reste consacrée au signal et non au bruit. C'est surtout la deuxième contrainte qui prime car les p pavés ensemble améliorent la pureté dans le rapport p . On prendra un S/N > 20 dB. Ce qui, en reprenant les mêmes hypothèses que précédemment nécessite une puissance d'émission de 2 W.

Le diagramme arrière du prisme résultant des p liaisons élémentaires est le même que celui utilisé par la mission vers la terre aux homoteties près résultant des angles d'aspect de l'antenne. En présence d'effets géométriques induits (attitude ou écart illuminateur) tous deux portent les mêmes lobes de sous-réseaux liés à l'échantillonnage de la fonction de couplage. Mais les lobes de sous-réseaux arrière sont plus élevés en niveau (voire égaux au lobe principal) lorsque le pavé est peu rempli à l'arrière car ils ne sont pas modulés par le gain du pavé. Le non-remplissage arrière ne constitue pas, une difficulté énergétique mais peut amener le risque d'illumination parasite via un lobe de sous-réseaux. Les illuminations parasites à éviter pour un prisme en orbite basse sont celles

d'origine terrestre. Le remplissage de pavé considéré précédemment est suffisant car il ferme le bouquet de lobes sur un demi angle de 20° autour de l'axe Y. Avec le maillage effectif de $7\lambda_f$, les premiers lobes de sous-réseaux en face avant sont distants de $\pm 3^\circ$ du lobe principal alors que
 5 l'ouverture d'un bouquet de faisceaux "transparents" est limitée à $\pm 1^\circ$. Ce même rapport de 3 se retrouve à l'arrière entre les lobes de sous-réseaux et les directions d'illumination, si bien que les lobes de réseau mêmes forts ne gênent pas le fonctionnement avec plusieurs illuminateurs.

On conclut qu'un élément rayonnant de $1,4 \lambda_{F+f}$ par $1,4 \lambda_{F+f}$ (effectif)
 10 par pavé est suffisant (pas de regroupement éclatement arrière). Le taux de remplissage arrière de $f/(25(F+f))$ est faible, d'autant qu'en général $(F+f)/f$ est grand.

3.4 Translation de fréquence

Dans chaque pavé le signal mission est mélangé avec un signal de
 15 translation pouvant être issu d'un signal interne ou d'un signal externe émis par l'illuminateur (ou du sol) ou encore d'une combinaison des deux. En appliquant pour le signal de translation externe le même niveau d'émission (2W) que le signal mission, le bilan de liaison arrière garantit la pureté du signal de translation en entrée du mélangeur par le biais d'une simple
 20 réception (et amplification) dans un filtre de 10 MHz (S/N de 35 dB). Si l'on peut désormais choisir une fréquence autorisée pour l'illumination mission, cela n'est pas le cas pour le signal de translation externe. Toutefois la tolérance en la matière sera encore plus défendable vu qu'il s'agit d'un ton ou raie pure. L'émission d'une référence de la translation externe sur une
 25 autre fréquence choisie plus librement est également possible, mais le mélange n'est plus direct et doit être précédé d'un changeur cohérent de fréquence. Mais dans ce cas on peut alors mettre la référence externe au voisinage de la bande d'illumination mission et ne pas avoir à dupliquer la chaîne de réception arrière.

30 Le mélangeur avec le signal mission peut tout aussi bien être placé après le retard du prisme, mais dans ce cas le ton de translation doit parcourir également ce retard, ce qui n'induit pas une duplication des

liaisons car le ton et le signal situées à des fréquences distinctes peuvent transiter ensemble. Cette solution est même meilleure dans le cas d'un prisme à fonction multi-faisceaux car l'illumination se faisant en principe sur autant de canaux fréquentiels que de faisceaux, il est souhaitable de faire

5 passer tout ce multiplex dans un seul couplage par pavé plutôt que d'avoir autant de couplages que de canaux. La solution présente même un deuxième avantage dans le sens où le où les tons de translation F et le signal à translater $F+f$ voient le même effet des erreurs de ligne à retard (dilatation), et donc après translation celui ci n'est vu qu'à la fréquence f ,

10 comme dans le cas sans translation. Le déphasage et le retard étant des notions équivalentes pour un ton pur, un simple déphasage, d'ailleurs assuré par les déphaseurs existants dans le pavé, permet d'éviter de faire transiter le ton dans les retards. On peut aussi appliquer deux translations

15 partiellement contraires de façon à systématiquement placer le retard à basse fréquence quelque soient F et f . De cette manière, une seule technologie de ligne à retard à basse fréquence permet de réaliser tout type de prisme. L'inconvénient de cette approche est décrit dans le § 2.7.2 et concerne l'effet de l'instabilité de fréquence F_i quand des déphasages remplacent les retards pour le ton F_i .

20

4. ILLUSTRATION EN TELECOM MULTI-FAISCEAUX GEOSTATIONNAIRE : 400 FAISCEAUX BANDE L DE 400KM DECALES OU MULTIPLES, ERREURS DE FREQUENCES..)

4.1 Réalisation de la mosaïque

25 Dans une mosaïque multi-faisceaux d'une mission télécom standard, généralement plusieurs faisceaux voisins utilisent plusieurs sous-bande distinctes de la bande de la mission et le motif élémentaire formé par ces faisceaux voisins est répété en réutilisation de fréquence pour former la mosaïque. Pour 4 sous-bandes, le motif élémentaire est un losange.

30 Le motif à réaliser par les illuminateurs doit être constitué par un nombre entier de losanges et est ensuite répété par la fonction multi-

faisceaux (ou plutôt multi-bouquet ici) interne de l'antenne. Cette dernière met en œuvre plusieurs réseaux de formation de faisceaux (BFN en anglais), c'est à dire plusieurs regroupements/éclatements avant (voir § 3.1) chacun conduisant à un faisceau spécifique quand un seul illuminateur est

5 présent. En présence d'un bouquet d'illuminateurs, chacun de ces faisceaux spécifique est multiplié pour former un bouquet de faisceaux. Au-delà des avantages déjà signalés l'intérêt du prisme est de réduire le nombre de BFN nécessaire pour une mosaïque donnée.

On utilise un prisme télécom en orbite géostationnaire, incliné à 45°

10 par rapport à la direction terre et fonctionnant en translation externe. L'antenne en bande L a une dimension effective 20m (28 m réel en est-ouest) on dispose alors d'un faisceau de $0,6^\circ$ d'ouverture. Un motif de 16 faisceaux, tel qu'illustré par la figure 3, nécessite un maillage réel de $6,6 \lambda_f$ (E/O) et $7,7 \lambda_f$ (N/S). Pour une mission couvrant toute la face terre, ce motif

15 doit être répété environ 25 fois. 3 satellites assurent une couverture mondiale avec 3 fois 400 faisceaux de 400 km de diamètre chacun.

4.2 Architecture du prisme et de l'illuminateur

Chaque illuminateur émet 25 signaux j sur des canaux distincts que

20 le prisme sait trier et rediriger en entrée d'un de ses 25 BFN. Si l'on choisit un multiplexage fréquentiel (parmi d'autres types de canalisation), la fonction translation de fréquence du prisme est réalisée d'emblée. Il y a des décalages de sous-bandes entre les multiplex correspondant à des faisceaux du motif devant utiliser des sous-bandes distinctes. Un seul

25 illuminateur émet le peigne de fréquences de translation ou la référence qui permet de le reconstituer.

A l'intérieur d'un motif, la variation de l'écart entre faisceaux due au fait que les différents illuminateurs ne travaillent pas dans la même sous-bande est faible et peut être de toute façon compensé à la construction au

30 niveau de la géométrie inter-illuminateurs. D'un motif à l'autre les écarts internes varient car les rapports d'amplification varient (en $(F_j+f)/f$), le motif se dilate ou se rétracte. Ceci peut être pris en compte dans la fonction multi-

faisceaux du prisme en adaptant la largeur du faisceau de façon à maintenir la juxtaposition, cette adaptation est de toute façon nécessaire pour d'autres raisons (variation de l'incidence au sol, de la taille effective de l'antenne dans la direction visée). Notons aussi que l'écart relatif angulaire est borné
 5 par $\Delta F/F$, ici peu différent de $\Delta f/f$ car $\Delta F = 25 \Delta f$ et $F/f = 20$. Avec un $\Delta f/f$ de quelque % l'erreur n'est que de quelques centièmes de degrés.

Le différentiel d'écart entre l'émission et la réception peut être important, comme indiqué en § 2.7 l'adoption d'un rapport constant $F_{\text{émission}}/F_{\text{réception}}$ égal au rapport $f_{\text{émission}}/f_{\text{réception}}$ règle le problème au prix ici
 10 d'un léger accroissement de l'occupation spectrale totale pour la liaison illumination qui devra être de $25 (1 + \max(f_{\text{émission}}/f_{\text{réception}}, f_{\text{réception}}/f_{\text{émission}})) \Delta f$ au lieu de $2 \cdot 25 \cdot \Delta f$.

Globalement cette application multi-faisceaux bénéficie du fait que l'illumination faite à très haute fréquence permet d'une part de réduire l'écart
 15 inter-illuminateur jusqu'à ne faire que seul satellite, et d'autre part de disposer, moyennant une bande relative similaire à celle de la mission, d'une largeur de bande absolue permettant l'étagement d'un grand nombre de faisceaux. Ceci est aussi en cohérence avec le fait que les bandes attribuées aux liaisons inter-satellites sont hautes et larges, même si,
 20 comme déjà signalé, la spécificité de la géométrie et des niveaux permet d'envisager de travailler dans des bandes non attribuées à cet effet.

Pour l'illustration considérée en bande L à 1,5 GHz à l'émission et 1,6 GHz à la réception avec 20 Mhz de bande, l'occupation spectrale en illumination avec 25 canaux est de 500 MHz à l'émission et de 500 Mhz la
 25 réception (ou de 530 Mhz si on veut vérifier un $F_{\text{émission}}/F_{\text{réception}}$ constant mais ceci ne semble pas nécessaire). En prenant 32,25 GHz comme fréquence centrale de l'illumination réception et 32,75 GHz pour celle de l'émission, les rapports d'amplification sont de 21,5 à l'émission et de 20,5 à la réception, ce qui n'engendre qu'une erreur maximum de 7,5 centièmes
 30 de degré sur la grande dimension +/- 1,5° du motif. Le tout rentre ainsi dans la bande attribuée 32-33 Ghz pour les liaisons intersatellite.

Le satellite illuminateur 2 dispose de 16 antennes sur une structure lacunaire reproduisant le motif dont l'envergure fait 12 mètres dans un sens et 7 mètres dans l'autre à une distance de 5 km, respectivement 2,4 m par 1,4 m si la distance peut être réduite à 1 km. La deuxième option est bien

5 sur préférable du point de vue du satellite, la première l'étant du point de vue de la navigation car la précision de distance relative doit être de l'ordre de 5% pour ne pas créer un déplacement du faisceau extrême du motif de plus de 7 centièmes de degrés (12% de l'ouverture de l'ouverture élémentaire). On peut noter que la structure d'un satellite éloigné à 5 km n'a

10 pas d'exigence de maîtrise dimensionnelle, une précision de 5% pour l'écart inter-illuminateur étant suffisante (soit 10 cm). Notons enfin qu'il existe d'autres bandes intersatellite encore plus hautes permettant d'augmenter encore l'amplification et de réduire l'écart inter-illuminateur.

Une telle mission offrant 400 faisceaux de 400 km d'empreinte sol et

15 requérant une taille effective d'antenne de 20 mètres est difficilement réalisable aujourd'hui dans l'approche classique puisqu'il faudrait disposer de 400 BFN dans une grande antenne dont la maîtrise dimensionnelle serait requise à $\lambda/20$.

4.3 Cas avec satellites illuminateurs 2 distincts

20 D'autres applications du satellite prisme 1 peuvent conduire à des satellites illuminateurs 2 distincts. La mise en œuvre du motif reste possible en faisant faire à chaque illuminateur une roue apparente vue du prisme. Cela est obtenu par une combinaison d'écart d'inclinaison et d'excentricité par rapport à l'orbite du prisme. Pour cette approche il est préférable de

25 rechercher un certain éloignement (100 km) pour gagner en précision relative de navigation. Le motif tourne sur lui-même en 24 H, il est nécessaire d'accompagner ce mouvement en faisant tourner l'ensemble de la mosaïque au niveau de la fonction multi-faisceaux du prisme, ce qui peut constituer une contrainte si cette fonction n'a pas besoin d'être variable par

30 ailleurs.

5. PRISME ET INTERFEROMETRIE VLBI LE LONG DE LA TRACE POUR DE L'IMAGERIE MICRO-ONDE

5.1 Introduction et principe

5 Il est bien connu que la taille d'antenne constitue la difficulté principale en radiométrie micro-onde passive, en particulier quand il s'agit d'imagerie de surface (hydrologie, biomasse, salinité) où il s'agit de concilier basse fréquence et bonne résolution. L'utilisation du concept de prisme se justifie déjà pour ses capacités de grande antenne, mais la géométrie deux
10 satellites se suivant permet aussi l'emploi de la technique VLBI (interférométrie à large bande) pour obtenir la résolution dans la dimension le long de la trace (le long de la projection sol de l'orbite) et ramener ainsi la contrainte de taille d'antenne dans la seule dimension qui permet d'obtenir une résolution transversale.

15 Selon le principe VLBI, l'intercorrélation complexe (avec intégration et détection en I et Q) du signal reçu par le prisme avec celui reçu directement par l'illuminateur réalise une discrimination angulaire autour de la source sol des signaux fonction de l'angle $90-\beta_0$ que fait la direction d'arrivée des signaux avec l'axe prisme illuminateur.

20 Le module de l'intercorrélation ($\sqrt{I^2 + Q^2}$) est de la forme:

$$| \text{SINC} (\pi B D (\sin(\beta) - \sin(\beta_0))/C) | \text{ avec}$$

- B = largeur de bande,

- D = distance entre illuminateur et prisme

- $90-\beta_0$ = angle de la visée avec l'axe prisme illuminateur

25 - $\tau_0 = D \sin(\beta_0)/C$ = retard appliqué à l'une des voies de réception pour ajuster la focalisation sur β_0

La résolution angulaire est $\delta\beta = C/BD$. La résolution moyenne au sol est de 0,15 km pour $D = 100$ km, $B = 27$ MHz (allocation radiométrie bande
30 L), et une altitude de satellite de 1000 km.

En choisissant la gamme de valeur β_0 l'intersection du cône de mesure VLBI avec la terre crée une ligne globalement transversales à la trace. La géométrie du prisme doit être telle que sa dimension longue projetée le long de la visée soit également à forte composante transversale, conférant un faisceau dont l'empreinte est à forte composante le long de la trace croisant avec un angle important la ligne à iso-mesure VLBI..

L'imagerie le long de la trace est obtenue par le déplacement des satellites, l'imagerie transversale est obtenue par le balayage du faisceau du prisme. Lors du déplacement de satellite on peut renouveler plusieurs visées sur le même point (profondeur le long de la trace) grâce à plusieurs valeurs β_0 , ceci dans un but d'accès à plusieurs incidences ou pour améliorer la résolution radiométrique.

5.2 Avec un satellite prisme 1 allongé selon l'axe tangage

15

Comme illustré par la figure 4, en prenant le vecteur P dans le plan de l'orbite et incliné vers la terre, le cône de visée d'auto-compensation rencontre la terre selon une ligne courbe qui coupe orthogonalement la trace du satellite. Avec un prisme allongé selon l'axe tangage, l'empreinte au sol du faisceau est allongée le long de trace. Le balayage déplace cette empreinte transversalement, l'autre dimension du prisme étant réduite, la ligne d'auto-compensation reste malgré sa courbure inscrite dans la grande dimension de l'empreinte du faisceau pour toute position de celui-ci. Si la mission ne vise qu'une simple fauchée sans profondeur le long de la trace, β_0 peut être ajusté au dépointage du faisceau afin de maintenir le pixel sur la ligne d'auto-compensation et les contraintes de déformées d'antenne sont alors totalement relâchées. En limitant ce relâchement à un facteur 10, on dispose d'une gamme de $\pm 10^\circ$ pour faire de la profondeur par visées multiple en VLBI (qui elles s'écartent de la visée d'auto-compensation).

30

5.3 Avec un satellite prisme 1 de type voile (allongé sur l'axe vertical)

La configuration de prisme type VOILE est parfaitement adaptée pour une antenne allongée selon la verticale. La visée de chaque côté de la trace est possible au prix d'un deuxième satellite illuminateur situé de l'autre côté par rapport au prisme le long de l'orbite et sans quasiment rien changer au niveau du prisme. La figure 5 représente la géométrie de la prise d'image, vue par un observateur situé sur l'axe vertical le long duquel est allongé le prisme.

10 Avec un signal de translation issu des illuminateurs ou bien une translation interne de faible valeur, un réglage de la géométrie peut être obtenu avec une gamme de visée en élévation de $-45^\circ \pm 10^\circ$, $\alpha = 58^\circ$ et $\alpha' = 80^\circ$.

15 Outre l'aptitude inhérente au concept VOILE pour une antenne très allongée verticalement (gradient de gravité) l'autre avantage par rapport à la configuration précédente est la tolérance au lobes de réseau qui permet de rendre l'antenne lacunaire dans sa grande dimension dans un rapport 5 (espacement $2,5 \lambda_f$ d'éléments de taille $0,5 \lambda_f$), aspect que l'on peut exploiter pour réaliser du multi-fréquence en mettant d'autres éléments
20 rayonnants dans les trous. L'inconvénient de cette configuration est que le débattement en élévation qui fait la registration transverse ne se fait pas le long de la ligne d'auto-compensation et est limité à $\pm 10^\circ$ pour conserver un relâchement de planéité d'un facteur 10. Il en résulte pour une même
25 revisite d'une part une nécessité de voler à plus haute altitude avec un impact sur la longueur de l'antenne, d'autre part la nécessité de deux micro-satellites illuminateurs 2.

REVENDICATIONS

5 1. Système comportant une antenne radio-fréquence placée sur une
orbite autour de la terre, ainsi que des moyens illuminateurs d'émission
et/ou de réception également en orbite autour de la terre situés sur au
moins un satellite distinct de celui portant l'antenne l'antenne se trouvant
dans le champ d'illumination desdits moyens, caractérisé en ce que
10 l'antenne est apte à dévier les signaux radio-fréquence correspondant à un
ou plusieurs canaux émis par les moyens illuminateurs pour les renvoyer
vers la terre selon un ou plusieurs faisceaux et/ou à dévier les signaux
radio-fréquence correspondant à un ou plusieurs faisceaux émis de la terre
pour les renvoyer vers les moyens illuminateurs selon un ou plusieurs
15 canaux.

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que les
moyens illuminateurs sont portés par au moins un satellite sensiblement sur
la même orbite que celui portant l'antenne.

3. Système selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce
20 que l'antenne radiofréquence est sensiblement plane, les signaux transitant
d'une face à l'autre de ladite antenne et en ce que, pour au moins un canal
et un sens de trajet, il correspond, à une direction d'illumination selon
laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux
vers et depuis l'antenne, un cône de visées dites d'autocompensation vers
25 et depuis la terre définies par une incidence commune sur le plan de
l'antenne, dite incidence d'autocompensation (l'incidence d'une direction
étant l'angle que fait cette direction avec la normale au plan de l'antenne),
les visées d'autocompensation étant telles que les déformées de l'antenne
transversalement au plan général de l'antenne et les erreurs d'attitude de
30 l'antenne autour de tout axe contenu dans ledit plan sont sensiblement sans
effet sur ces mêmes signaux déviés vers ou depuis cette visée d'auto-
compensation et d'effet réduit dans les directions de visée voisines.

4. Système selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne est formée d'un maillage de pavés et en ce que chaque pavé comporte au moins une portion centrale, unique pour un canal donné et un sens de trajet, reliée par des moyens de regroupement et/ou éclatement d'une part en amont sur le trajet à au moins un point de réception des signaux et d'autre part en aval à au moins un point d'émission des signaux et en ce que des moyens pour appliquer les déphasages et ou retard entre les points d'émission et de réception afin d'assurer la déviation sont appliqués sur la portion centrale pour ce qui concerne le retard et le déphasage commun et sur les branches pour ce qui concerne le retard et ou déphasage différentiel.

5. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens permettant de faire varier les déphasages et/ou retards appliqués sur les différents trajets.

6. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'au moins une partie des moyens de liaison entre le ou les points de réception et le ou les points d'émission est commune à différents canaux et en ce que des moyens permettant de discriminer ces différents canaux sont disposés au niveau d'au moins une jonction entre une portion de trajet commun et des portions de trajets spécifiques.

7. Système selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne comporte des moyens pour translater la fréquence des signaux lors de leur déviation, pour au moins un canal et un trajet.

8. Système selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que pour au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent la même fréquence avant et après l'antenne.

9. Système selon les revendications 3 et 8 prises en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, l'incidence d'autocompensation est égale à l'incidence de la direction d'illumination.

10. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que, pour au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence

distincte avant et après l'antenne et en ce que la fréquence de translation utilisée n'est pas issue de signaux reçus sur une des faces du pavé.

11. Système selon les revendications 3 et 10 en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, le cosinus de l'incidence de la visée d'autocompensation et le cosinus de l'incidence de la direction d'illumination sont sensiblement dans le rapport des fréquences centrales du canal côté illumination et côté terre.

12. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que selon au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et en ce que la fréquence de translation est issue d'un signal de translation dit externe reçu par une face du pavé.

13. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que selon au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et en ce que la translation de fréquence résulte ou est équivalente à deux translations consécutives, dont une qui est dite externe et dont la fréquence de translation, appelée F_e , est issue d'un signal de translation externe reçu par une face du pavé et dont l'autre qui est dite interne et qui est de fréquence de translation F_i , est sans référence à un signal reçu par l'une ou l'autre des faces du pavé.

14. Système selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens illuminateurs comportent une pluralité de sous-ensembles illuminateurs et en ce que différents signaux d'un même canal émis vers la pluralité des sous-ensembles illuminateurs ou issus de celle-ci se répartissent entre la terre et l'antenne selon une pluralité de faisceaux d'émission et/ou de réception dont la géométrie angulaire vue de l'antenne correspond sensiblement à la géométrie angulaire relative selon laquelle sont vus depuis l'antenne les différents sous-ensembles illuminant ce canal, cette géométrie étant le cas échéant modifiée par une anisotropie.

15. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que les moyens illuminateurs comportent une pluralité de sous-ensembles illuminateurs et en ce que, pour un canal donné pour lequel l'antenne met

en œuvre une translation de fréquence, les différents signaux émis vers la pluralité des sous-ensembles illuminateurs ou issus de celle-ci se répartissent selon une pluralité de faisceaux d'émission et/ou de réception vers la terre dont la géométrie angulaire vue de l'antenne correspond
 5 sensiblement à la géométrie angulaire relative selon laquelle sont vus depuis l'antenne les différents sous-ensembles illuminant ce canal, après multiplication de tous les écarts angulaires par le rapport des fréquences centrales du canal côté illuminateur et côté terre, cette géométrie étant le cas échéant modifiée par une anisotropie.

10 16. Système selon les revendications 12 ou 13, éventuellement prises en combinaison avec la revendication 15, caractérisé en ce que le signal de translation externe utilisé selon au moins un canal est émis par les moyens illuminateurs et reçu par la face de l'antenne qui est du côté de l'illumination, et en ce que dans le cas où les moyens illuminateurs sont
 15 répartis en sous-ensembles illuminateurs le signal de translation externe est émis par un sous-ensemble appelé foyer, éventuellement limité à cette fonction.

17. Système selon les revendications 3 et 16, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des
 20 moyens illuminateurs émettent des signaux vers l'antenne tout en émettant le signal de translation externe, le cosinus de l'incidence d'autocompensation et le cosinus de l'incidence de la direction d'illumination sont sensiblement dans le rapport $(f + F - F_e) / f$ où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe, et F est la totalité de la
 25 translation de fréquence, et en ce que dans le cas où les moyens d'illumination sont répartis en sous-ensembles, l'écart d'incidence entre l'illumination considérée et le foyer est sensiblement reproduit dans l'écart entre les incidences d'autocompensation correspondant à l'illumination et celles qui correspondraient au foyer, moyennant les termes multiplicatifs
 30 $(f+F/f)$ et $(\sin(\phi_1)/\sin(\phi_2))$ où ϕ_1 est l'angle d'incidence d'illumination du foyer et ϕ_2 l'angle d'incidence d'autocompensation qui en résulterait si le foyer émettait.

18. Système selon la revendication 17, caractérisé en ce que F_e et F sont de même signe, c'est à dire portent sur des changements de fréquence de même sens.

19. Système selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce qu'un signal de translation externe utilisé selon au moins un canal à la réception est reçu par la face du pavé selon laquelle se fait la réception et est émis d'un point sol appelé foyer sol.

20. Système selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce qu'un signal de translation externe utilisé selon au moins un canal à la réception est reçu par la face du pavé selon laquelle se fait la réception et est émis par au moins un satellite sensiblement sur la même orbite que l'antenne et les moyens illuminateurs, ce satellite étant disposé par rapport à l'antenne du côté opposé aux moyens illuminateurs, les moyens d'émission du signal étant appelés foyer opposé.

21. Système selon la revendication 3 prise en combinaison avec l'une des revendications 19 ou 20, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, l'angle de l'incidence d'autocompensation est sensiblement égal à $\phi_2 + (\cos(\phi_2) (f + F_e) - \cos(\phi_1) (F + f)) / \sin(\phi_2) f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et celui du signal de translation externe, f la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe, et F est la totalité de la translation de fréquence,.

22. Système selon la revendication 21, caractérisé en ce que F_e et F sont de même signe, c'est à dire portent sur des changements de fréquence de même sens.

23. Système selon les revendications 12, 18, 19 et 22 prises en combinaison, caractérisé en ce que pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, la fréquence F_e est égale à la fréquence F pour les deux trajets et au moins un foyer sol est au voisinage d'une visée d'autocompensation d'émission correspondant à ces moyens illuminateurs.

24. Système selon les revendications 18 et 22 prises en combinaison avec l'un des revendications 19 ou 20, caractérisé en ce que pour au moins

un canal utilisé à l'émission et à la réception, l'attitude de l'antenne, ainsi que les fréquences F_i et F_e à la fois à l'émission et à la réception, sont telles que les visées d'autocompensation sont identiques sur les deux trajets en dépit du non-alignement du foyer opposé avec les moyens
 5 illuminateurs utilisés en réception, ou en dépit de l'éloignement entre le foyer sol et le centre de la zone à couvrir.

25. Système selon les revendications 3 et 16 en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, la
 10 translation de fréquence F_e se fait à partir du signal externe reçu par la face d'illumination et l'incidence d'autocompensation est telle que $\cos(\phi_2)/\cos(\phi_1) = (f + F_e + F)/f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et l'angle de l'incidence d'autocompensation, f étant la fréquence côté terre, F_e la valeur de la translation externe, F la totalité de
 15 la translation de fréquence.

26. Système selon la revendication 25, caractérisé en ce que F_e et F sont de signes contraires, c'est à dire que la translation externe F_e est de sens opposé à la translation totale F .

27. Système selon la revendication 26, caractérisé en ce que pour au
 20 moins un canal utilisé à la réception $|F_e| = |F|$ et $F_i = 2|F|$.

28. Système selon les revendications 18 et 26 en combinaison, caractérisé en ce que, pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, $|F_e| = |F|$ et $F_i = 2|F|$ pour la réception et $F_e = F$ pour l'émission et en ce que les visées d'autocompensation sont sensiblement identiques sur
 25 les deux trajets.

29. Système selon les revendications 3 et 16 prises en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, la translation F_e se fait à partir du signal externe reçu par la face d'illumination
 30 et est de même sens que la translation totale F , en ce que $F = F_e$ et en ce que l'incidence d'autocompensation est donnée par $\phi_2 - \phi_1 = -2 \operatorname{Ctg}(\phi_1) F/f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et l'angle de

l'incidence d'autocompensation f étant la fréquence côté terre, F_e la valeur de la translation, F la totalité de la translation de fréquence.

30. Système selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'attitude de l'antenne est telle que l'écart angulaire entre l'ensemble des visées
5 possibles et les visées d'auto-compensation soit globalement minimisé.

31. Système selon la revendication 3 prise en combinaison avec l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que l'attitude et la ou les fréquences de translation F_e ou F_i sont telles que l'écart angulaire entre l'ensemble des visées possibles et les visées d'auto-compensation soit
10 globalement minimisé.

32. Système selon les revendications 3 prise en combinaison avec l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que l'attitude et la ou les fréquences de translation F_e ou F_i sont telles que les résidus d'autocompensation soient répartis sur les deux trajets.

15 33. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'antenne comporte des moyens pour mettre en œuvre des translations de fréquences différentes sur les signaux radio-fréquence émis ou reçus selon des canaux distincts.

20 34. Système selon les revendications 1 et 5 prises en combinaison, caractérisé en ce que les moyens de déphasage et/ou retard sont commandés de façon à maintenir inchangé l'orientation dans le repère lié à l'antenne d'un faisceau correspondant à un canal en dépit des modifications de l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'illumination utilisée par le faisceau.

25 35. Système selon la revendication 34 prise en combinaison avec l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que les moyens de déphasage et/ou retard sont commandés de façon à maintenir inchangée l'orientation dans le repère lié à l'antenne d'une direction de faisceau éventuellement virtuel correspondant à une direction d'illumination
30 éventuellement virtuelle repérée par rapport aux directions d'illumination d'un canal.

36. Système selon la revendication 35 prise en combinaison avec la revendication 4, caractérisé en ce que la direction du faisceau,

éventuellement virtuel, sur lequel porte la compensation est choisie de manière à minimiser l'écart angulaire maximal entre ce faisceau et le faisceau ou l'ensemble des faisceaux du canal et en ce que le pas, compté à la longueur d'onde de la fréquence centrale du canal côté terre, entre les points centraux utilisés par le canal est établi en fonction de cet écart angulaire maximal et du niveau tolérable des lobes de sous-réseaux accompagnant le ou les faisceaux du canal.

37. Système selon la revendication 34, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour commander les moyens de déphasage et/ou de retard de façon à maintenir inchangée la direction dans le repère terrestre d'au moins un faisceau d'au moins un canal en dépit des modifications d'attitude de l'antenne et des modifications qui en résultent concernant l'orientation dans le repère lié à l'antenne des directions d'illuminations.

38. Système selon la revendication 34, caractérisé en ce que le satellite qui porte l'antenne et au moins un satellite portant des moyens d'illumination comportent des moyens pour déterminer l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'illumination.

39. Système selon la revendication 34, caractérisé en ce que le satellite qui porte l'antenne et au moins un satellite portant des moyens d'illumination comportent des moyens pour déterminer l'orientation dans le repère terrestre de l'axe les joignant.

40. Système selon les revendications 38 et 39 prises en combinaison, caractérisé en ce que l'orientation de la direction d'illumination dans le repère lié à l'antenne est déterminé à partir de la connaissance de l'attitude de l'antenne et de l'orientation dans le repère terrestre de l'axe les joignant.

41. Système selon la revendication 38, caractérisé en ce que l'antenne comporte des moyens pour comparer les phases et/ou retards d'au moins un signal émis par les moyens illuminateurs et reçu en différents points de l'antenne et des moyens pour déterminer en fonction de cette comparaison l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'arrivée du ou des signaux.

42. Système selon les revendications 39 et 41 prises en combinaison, caractérisé en ce que l'attitude en lacet et/ou tangage de l'antenne est déterminée à partir de la connaissance de l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'arrivée du ou des signaux et de
5 l'orientation dans le repère terrestre de cette direction d'arrivée.

43. Système selon la revendication 39, caractérisé en ce qu'un satellite qui porte des moyens illuminateurs comporte des moyens pour se localiser ou des moyens de réception de signaux de radiolocalisation, ainsi que des moyens pour transmettre les informations de localisation ou les
10 signaux de radiolocalisation qu'elle reçoit au satellite qui porte l'antenne, ce dernier comportant des moyens pour déterminer en fonction notamment de ces informations l'orientation dans le repère terrestre de l'axe joignant les deux satellites.

44. Système selon les revendications 35 et 41 prises en
15 combinaison, caractérisé en ce que la direction d'illumination virtuelle repérée est celle d'un sous-ensemble illuminateur qui émet le signal de mesure, et en ce que la mesure donne directement l'information nécessaire à la compensation.

45. Système selon la revendication 15, caractérisé en ce que des
20 sous-ensembles illuminateurs sont sur un même satellite.

46. Système selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que des sous-ensembles illuminateurs sont décalés les uns par rapport aux autres sur une orbite commune.

47. Système selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en
25 ce que des orbites de sous-ensembles illuminateurs présentent des écarts d'ellipticité et/ou de plan d'orbite.

48. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que sur un retard de portion centrale transite ensemble au moins un canal et la raie de translation, ou une référence qui permet de la créer, utilisée pour baisser la
30 fréquence du ou des canaux en aval du retard, de façon à limiter les impacts des imperfections du retard sur la phase du signal dévié.

49. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'une translation descendante est réalisée sur un canal ou plusieurs canaux en amont du retard de portion centrale.

50. Système selon la revendication 49, caractérisé en ce qu'une telle translation descendante est suivie d'une translation montante après le retard utilisant une référence n'ayant pas subi ce retard, de façon à limiter les impacts des imperfections du retard sur la phase du signal dévié.

51. Système selon la revendication 6, caractérisé en ce que le retard sur la portion centrale est commun à au moins deux canaux sur au moins un sens de trajet.

52. Système selon les revendications 6 et 7, caractérisé en ce que la translation de fréquence est réalisée, sur au moins un canal et un trajet, dans la portion centrale.

53. Système selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que, dans une application à la transmission de télécommunications, il comporte une pluralité de canaux, ainsi qu'une pluralité de sous-ensembles illuminateurs, la mosaïque des faisceaux au sol étant constituée par le motif fin généré par l'antenne du fait de la géométrie angulaire selon laquelle les sous-ensembles illuminateurs sont vus par celle-ci, répété selon un motif large qui est généré par l'antenne du fait des différents canaux.

54. Système selon les revendications 53 et 47, caractérisé en ce que les sous-ensembles illuminateurs illuminant un même canal sont vus de l'antenne suivant une géométrie angulaire relative stable à l'exception d'une rotation sur elle-même à la période orbitale et en ce que la pluralité de directions assurée par le motif large du canal précessionne grâce aux moyens de déphasage et/ou retard autour d'une direction centrale et ce en phase avec la rotation du motif fin de façon à ce que la mosaïque d'ensemble des faisceaux garde une structure stable, mise à part une rotation sur elle-même à l'échelle orbitale.

55. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'orbite des satellites est une orbite basse et en ce que l'antenne s'étend sensiblement dans un plan qui passe par le centre de la terre, en ce qu'un décalage du plan par rapport au plan d'orbite permet l'illumination sur une



face, en ce que sur l'autre face au moins un des faisceaux est dépointé pour voir la terre.

56. Système selon la revendications 55 prise en combinaison avec la revendication 46, caractérisé en ce que les déphasages et les retards sont
5 tels que le décalage des sous-ensembles illuminateurs se traduit par des faisceaux à empreintes au sol décalées transversalement par rapport à la trace.

57. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'au moins deux satellites antenne utilisent des moyens illuminateurs communs.

10 58. Système selon la revendication 57, caractérisé en ce qu'au moins deux satellites antennes sont situés d'un même côté, le long de l'orbite, des moyens illuminateurs, et en ce qu'ils sont décalés sur la même orbite ou sont décalés en ellipticité et/ou plan d'orbite.

59. Système selon la revendication 57, caractérisé en ce qu'au moins
15 deux satellites antennes sont de part et d'autre des moyens illuminateurs.

60. Système selon l'une des revendications 57 à 59, caractérisé en ce qu'un satellite antenne porte des moyens illuminateurs destinés à un autre satellite antenne.

61. Système selon la revendication 60, caractérisé en ce qu'un
20 satellite prisme porte des moyens illuminateurs destinés à un autre satellite prisme et est illuminé par des moyens illuminateurs portés par un satellite prisme.

62. Système selon les revendications 2 et 3, caractérisé en ce que l'axe normal à l'antenne est sensiblement dans le plan de l'orbite, le
25 tangage étant tel que le cône de visée d'auto-compensation rencontre la terre selon une ligne d'auto-compensation s'étirant globalement transversalement à l'orbite et en ce que le déplacement au sol, sensiblement le long de la projection de l'orbite, de la ligne d'auto-compensation est réalisé par le déplacement du satellite et/ou par le
30 changement du tangage de l'axe d'antenne et/ou le changement de la fréquence de translation dans le cas où celle-ci est assurée au moins par un signal interne, ces trois moyens pouvant être utilisés séparément ou en combinaison.

63. Système selon la revendication 62, caractérisé en ce que les visées sol sont réparties en fauchée le long de la ligne d'auto-compensation de sorte que les contraintes de déformation de l'antenne sont très relâchées.

5 64. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce que des moyens illuminateurs reçoivent directement de la terre des signaux également reçus via l'antenne et en ce qu'une corrélation entre les deux voies d'arrivée des signaux réalise une discrimination de visée de la source de ces signaux fonction de l'angle que la direction d'arrivée des signaux fait
10 avec l'axe antenne/moyens illuminateurs.

65. Système selon la revendication 64, caractérisé en ce que le déplacement au sol, sensiblement le long de la projection de l'orbite, de la zone de visée discriminée par la corrélation est réalisée par le déplacement du satellite et/ou par le changement de l'angle de discrimination.

15 66. Système selon la revendication 65, caractérisé en ce que l'antenne présente dans une direction une dimension plus importante que dans les autres directions, ce qui assure pour au moins un faisceau l'étroitesse de l'empreinte au sol dans une direction transversale à l'orbite.

67. Système selon les revendications 65 et 66 prises en
20 combinaison, caractérisé en ce qu'une imagerie du sol selon deux composantes croisées est obtenue en combinant la corrélation et un balayage du faisceau.

68. Système selon les revendications 63 et 67 prises en
25 combinaison, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour réaliser les visées au sol à partir d'un balayage électronique d'un faisceau selon une commande mono-dimensionnelle et en ce que la grande dimension de l'empreinte du faisceau, qui résulte de la petite dimension de l'antenne, est le long de l'orbite et permet de recouvrir la ligne d'auto-compensation pour toutes position du faisceau, en dépit de la courbure de cette ligne et du
30 caractère mono-dimensionnel de la commande de balayage.

69. Système selon la revendication 68, caractérisé en ce que l'antenne est allongée le long de l'axe tangage.

70. Système selon les revendications 67 et 55 prises en combinaison, caractérisé en ce que l'antenne est allongée le long de l'axe lacet.

5 71. Système selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'antenne dispose de moyens pour mesurer ou reconstituer la déformée (ΔP) transversale au plan de l'antenne.

72. Système selon la revendication 71, caractérisé en ce que l'antenne comporte des moyens pour comparer les phases et/ou retards d'au moins un signal émis par les moyens illuminateurs et reçu en différents
10 points de l'antenne et des moyens pour déterminer en fonction de cette comparaison la déformée (ΔP) transversale au plan de l'antenne.

73 Système selon les revendications 3, 5, 8 et 71, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis
15 l'antenne et au moins un sens de trajet, une correction de déformée est réalisée par variation du déphasage de valeur $\Delta P (2\pi f/C) (\cos(\phi_2) - \cos(\phi_1))$ au niveau d'au moins une des portions centrales, où ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, f est la fréquence coté terre et coté illumination, et ΔP est la valeur de déformée
20 transversale au niveau à chacune des portions centrales.

74 Système selon les revendications 3, 5, 10 et 71, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, une correction de
25 déformée est réalisée par variation du déphasage de valeur $\Delta P (2\pi/C) (f_2 \cos(\phi_2) - f_1 \cos(\phi_1))$ au niveau d'au moins une des portions centrales, où ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, f_2 et f_1 sont les fréquences coté terre et coté illumination, et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions
30 centrales.

75. Système selon les revendications 3, 5, 16 et 71, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle

des moyens illuminateurs émettent des signaux vers l'antenne, une correction de déformées est réalisée par variation du déphasage de $\Delta P (2\pi/C) (f \cos(\phi_2) - (f + F) \cos(\phi_1) + F_e \cos(\phi'_1))$ au niveau d'au moins une des portions centrales, où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe comptée de même signe que F si les changements de fréquence sont dans le même sens, F est la totalité de la translation de fréquence, ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, ϕ'_1 est celui de la direction du foyer, ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales.

- 10 76. Système selon les revendications 3, 5, 16 et 71, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, une correction de déformée est réalisée au niveau d'au moins une des portions centrales par variation du déphasage de $\Delta P (2\pi/C) (f \cos(\phi_2) - (f + F) \cos(\phi_1) - F_e \cos(\phi'_1))$, où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe comptée de même signe que F si les changements de fréquence sont dans le même sens, F est la totalité de la translation de fréquence, ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, ϕ'_1 est celui de la direction du foyer et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales.

- 25 77. Système selon les revendications 3, 5 et 71, prises en combinaison avec l'une des revendications 19 ou 20, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, une correction de déformée est réalisée au niveau d'au moins une des portions centrales par variation du déphasage de $\Delta P (2\pi/C) (f \cos(\phi_2) + F_e \cos(\phi'_2) - (f + F) \cos(\phi_1))$, où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe comptée de même signe que F si les changements de fréquence sont dans le même sens, F est la totalité de la translation de fréquence, ϕ_1 est l'angle d'incidence de l'illumination, ϕ_2 est celui de la direction visée, ϕ'_2 est celui

de la direction du foyer sol ou du foyer opposé et ΔP est la valeur de déformée transversale au niveau à chacune des portions centrales.

ORIGINAL

CABINET REGIMBEAU
CONSEILS EN PROJET INDUSTRIEL
26, Avenue Héber
75118 PARIS

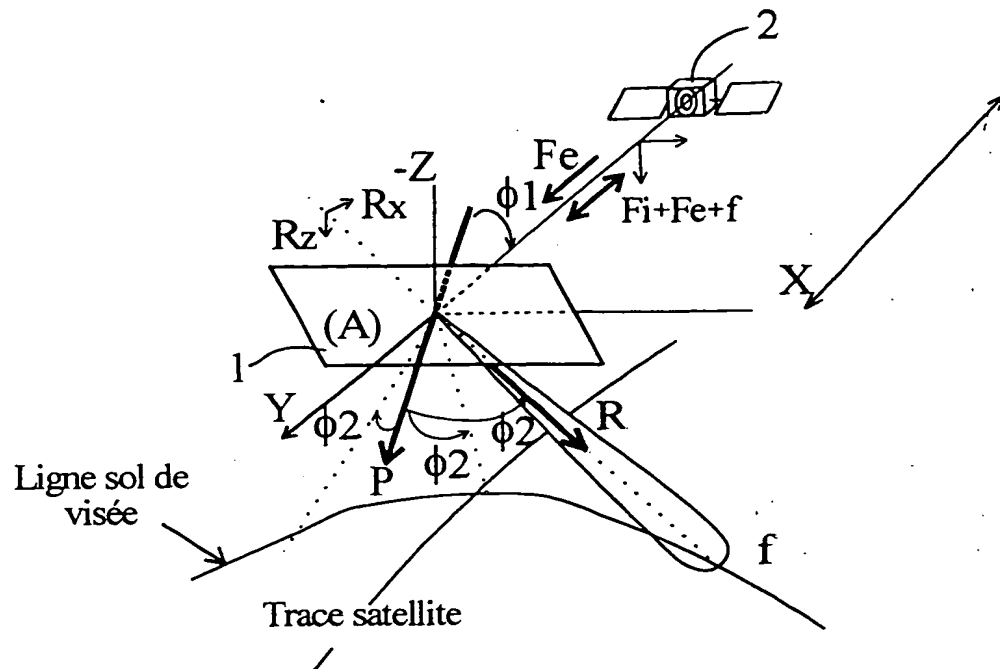


FIG. 1

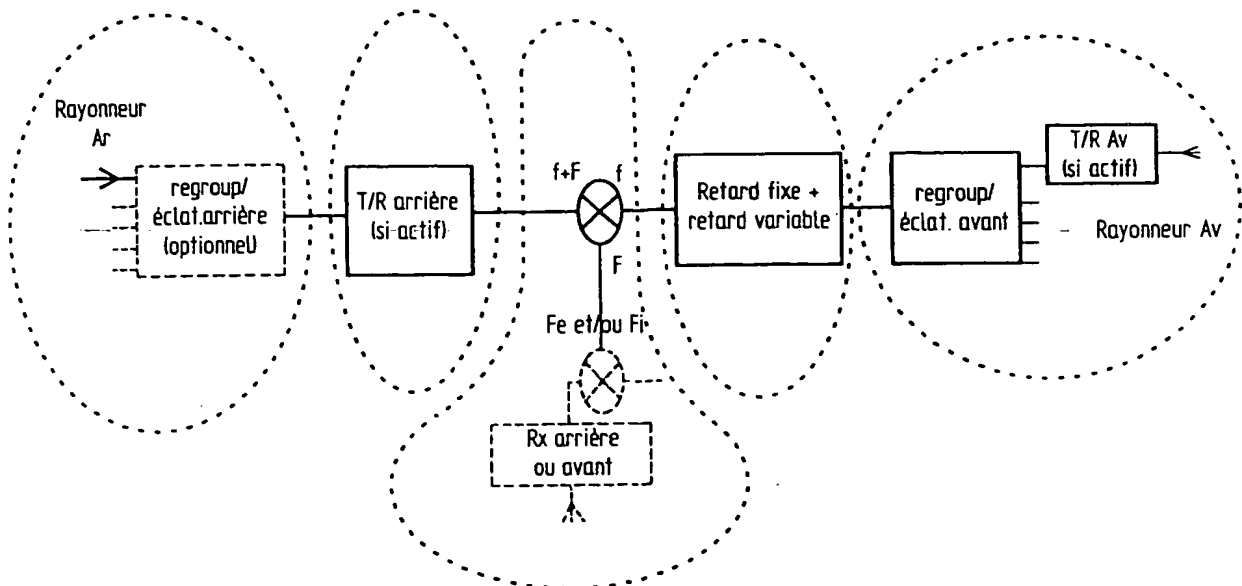


FIG. 2

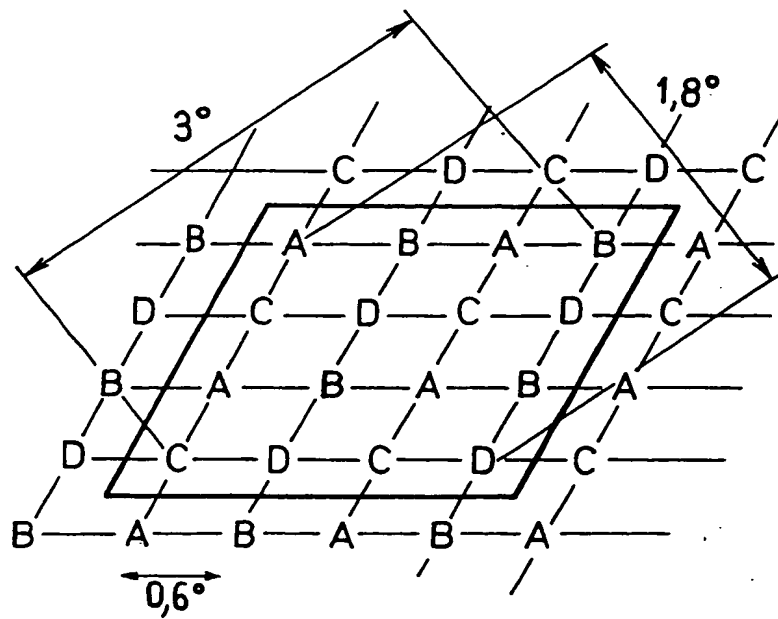


FIG. 3

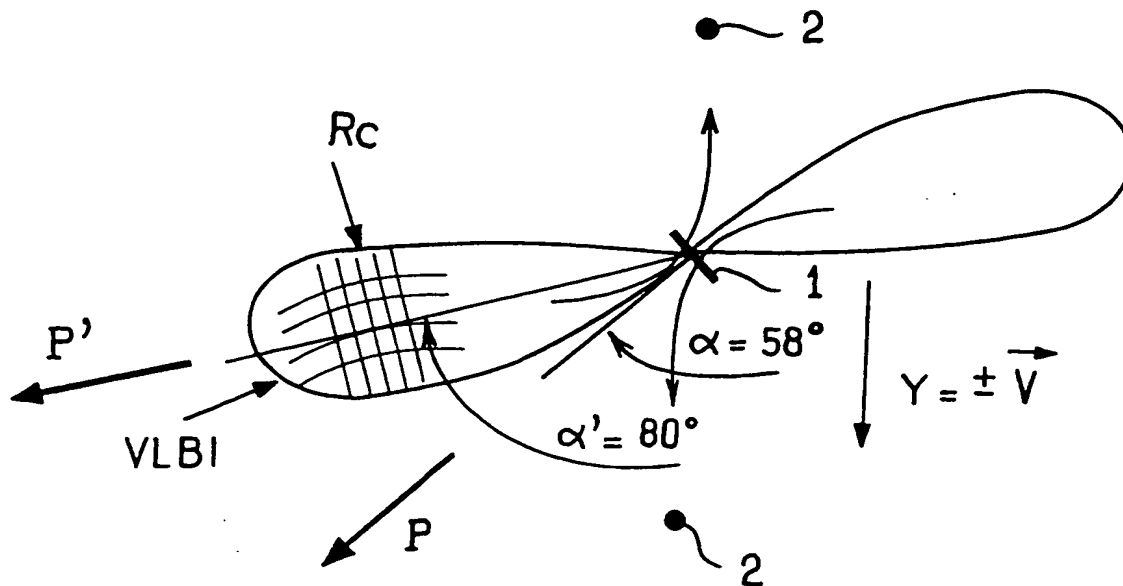


FIG. 4

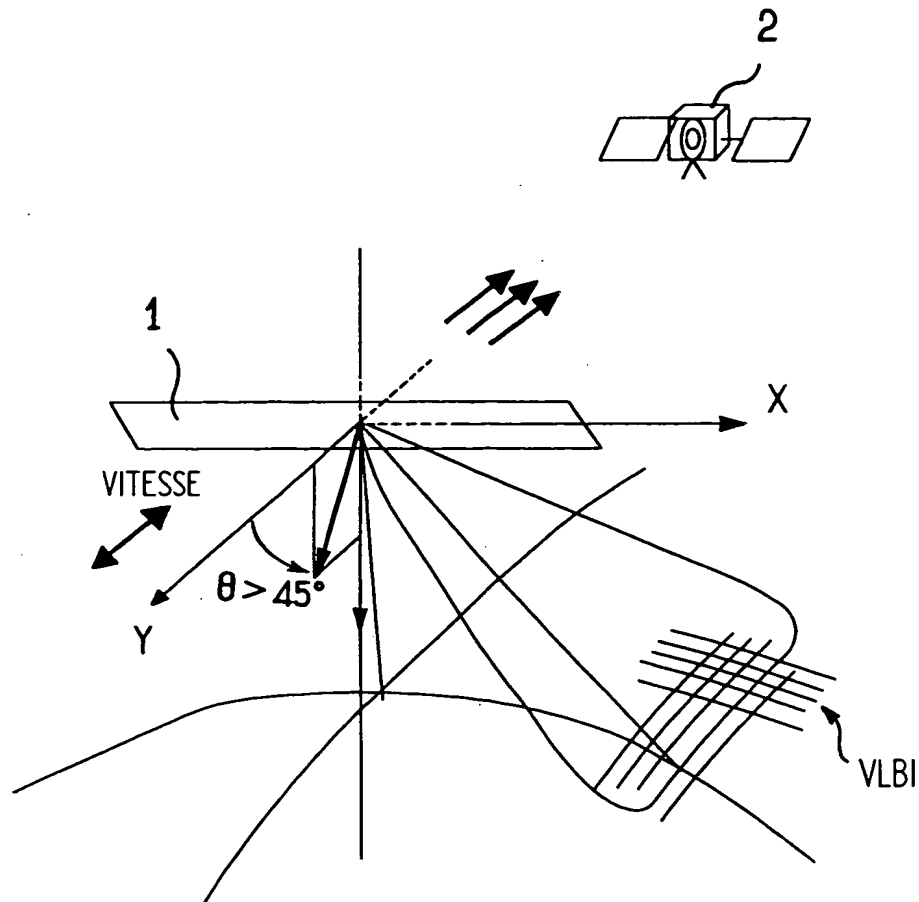


FIG.5

THIS PAGE BLANK (USPTO)